



TITLE:

試行錯誤型学習による所要時間変動を考慮した貨物車の経路選択に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

内山, 直浩

CITATION:

内山, 直浩. 試行錯誤型学習による所要時間変動を考慮した貨物車の経路選択に関する研究. 京都大学, 2013, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2013-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k17532>

RIGHT:

試行錯誤型学習による所要時間変動を考慮した
貨物車の経路選択に関する研究

2013年

内山 直浩

目次

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 1. はじめに | 1 |
| 1-1 本研究の目的 | 1 |
| 1-2 本研究の流れ | 3 |
| 2. 既往研究 | 4 |
| 2-1 既往研究 | 4 |
| 2-2 本研究の位置づけ | 11 |
| 2-3 参考文献 | 12 |
| 3. 時間信頼性データ分析 | 15 |
| 3-1 データの収集 | 15 |
| 3-2 愛知県周辺の所要時間変動の状況分析 | 18 |
| 3-3 貨物車の走行特性の分析 | 22 |
| 3-4 物流事業者の経路選択行動の状況分析 | 27 |
| 3-5 余裕時間に関する分析 | 36 |
| 3-6 参考文献 | 48 |
| 4. モデルの構築 | 49 |
| 4-1 モデルの概要 | 49 |
| 4-2 モデルの定式化 | 52 |
| 4-3 モデルへの適用 | 59 |
| 4-3-1 豊田市-田原市間経路（7～9時台）への適用 | 59 |
| 4-3-2 豊田市-田原市間経路（19～21時台）への適用 | 70 |
| 4-3-3 豊田市-飛島村間経路（7～9時台）への適用 | 74 |
| 4-3-4 豊田市-飛島村間経路（19～21時台）への構築 | 82 |
| 4-4 デーモンの学習を加えたモデルの検討 | 86 |
| 4-5 参考文献 | 95 |
| 5. 経路条件を変化させた場合の経路選択行動への影響分析 | 97 |
| 5-1 豊田市-田原市間経路：7～9時台 | 97 |
| 5-2 豊田市-田原市間経路：19～21時台 | 101 |
| 5-3 豊田市-飛島村間経路：7～9時台 | 105 |
| 5-4 豊田市-飛島村間経路：19～21時台 | 109 |

| | |
|---|-----|
| 6. 具体的な道路施策での平均所要時間や時間信頼性の向上に伴う経路選択行動への影響分析 | 113 |
| 6-1 ミクロシミュレーションを含めたモデルの適用 | 113 |
| 6-2 ミクロシミュレーションの概要 | 114 |
| 6-2-1 ミクロシミュレーションの特徴..... | 114 |
| 6-2-2 VISSIM の特徴..... | 114 |
| 6-3 ミクロシミュレーションの実行 | 116 |
| 6-4 ミクロシミュレーション結果を用いた経路選択行動分析 | 133 |
| 6-5 参考文献 | 139 |
| 7. 結論 | 141 |
| 8. 謝辞 | 145 |

1. はじめに

1-1 本研究の目的

道路整備による物流への直接効果や間接効果についての業務に関わる機会をもち、効果の1つとして、時間信頼性の向上による物流への効果について関心を得た。その業務の中で、イギリスやニュージーランドでは実際の道路整備による費用便益分析における評価項目中に様々な効果を含んでおり、その中の一つの評価項目として、所要時間信頼性向上による効果、具体的には所要時間の標準偏差の減少による時間便益を含んでいることを知った。両国とも①日々の所要時間の変動、②事故による大規模な遅れによる所要時間の変動の2種類のうち、①日々の所要時間の変動を取り扱うこととし、②事故による遅れによる所要時間の変動は対象外としていた。評価方法としては、特に貨物車における所要時間の標準偏差の減少効果に対する金銭価値が乗用車よりも重視され、より大きな値をとり評価されており、貨物車の走行に対する所要時間の変動の減少効果の重要性を示唆していた。また、アメリカのFHWAでは、Buffer indexという所要時間の信頼性を考慮した指標を発表し、交通指標として一定の地位を築いている。このように、各国で所要時間の信頼性が、道路建設や道路交通評価の際に考慮されている現状に関わった業務を通して把握した。

一方、物流事業者では遅刻が許されないために余裕時間を含んでダイヤを組んでいる現状があること、すなわち、所要時間の変動を考慮してダイヤを組んでいることも同じ一連の業務の中で知った。ジャストインタイム輸送等の進展に伴い、輸送先への遅刻が許されない状況であり、交通渋滞や交通事故等による所要時間の変動を考慮し、平均的な所要時間よりも時間に余裕をもって運行している。乗用車でも通勤や業務など、待ち合わせ時刻のある限られた場面でそのような考慮を無意識のうちに行っているが、特に貨物車の運行においては重要視されている。実際に、業務で行ったアンケートによってもこの点は明らかにされている。業務では、アンケートによって、「P:到着時刻に約束のある利用者の割合」、「Q:早着時間を待機する利用者の割合」を把握し、 $P \times Q$ によって時間信頼性の向上によって便益を享受する車の割合を求めた。その結果、乗用車は、約10%であるのに対して、貨物車では約22%、営業貨物に限ると約27%と2~3倍の割合の車に所要時間の変動の減少による便益が得られることを示した。これは、イギリスやニュージーランドでの所要時間の変動の減少に対する便益算定の考え方と整合している。

このような背景を知るに至り、貨物車の走行にとって所要時間の信頼性向上効果が無視できないものであり、それらの状況を分析することや、それらの状況を反映した経路選択モデルについての研究が非常に有用であると考えようになり、強い興味を持つようになった。所要時間の変動に対する物流事業者の行動について、さらに分析し、実際の走行を表現する経路選択モデルを構築することは、物流事業者における経路選択検討はもちろん、

物流事業者の経路選択行動を考慮した道路整備計画の立案に資するものと考えられ、それらへの貢献の観点からも所要時間の変動を考慮した経路選択モデルの研究が興味深いものであると考えた。

実際に用いられている経路選択行動を推計するモデルの多くは、起終点間の平均所要時間の短縮効果にもとづいたモデルであり、定時性・信頼性の向上効果が含まれていないことが多い。物流事業者の道路整備等の交通状況変化に即した経路選択行動決定に資するため、また、道路整備による物流事業者の行動変化をより精緻に分析するためには、定時性・信頼性を考慮した実際の行動を分析できるモデルが必要である。

そこで、本研究では、実データを用いて物流事業者が実施している余裕時間設定行動や経路選択行動を把握・分析するとともに、物流事業者が実施している行動を規定する経路選択モデルの構築を試みることを目的として研究を実施した。

なお、全ての分析・モデル構築は、国土交通省中部地方整備局において物流事業者4社、合計579台から取得した、平成20年10月の1ヶ月のプローブデータを用いて行った。

1-2 本研究の流れ

本研究は、物流事業者の経路選択状況を表現するモデルの構築を目指して実施した。まずはじめに、得られたプローブデータを用いて、所要時間の変動状況や変動状況に対応した余裕時間の設定状況の分析、実際の輸送経路選択状況の分析を行った。輸送経路選択状況の分析をもとに、モデルを構築する輸送を決定し、物流事業者の経路選択状況を表現するモデルの構築を行った。さらに、構築されたモデルを用いて所要時間の変動状況や有料道路料金を変更した場合の経路選択状況変化への影響、実際の道路事業による経路選択状況の変化への影響を分析した。

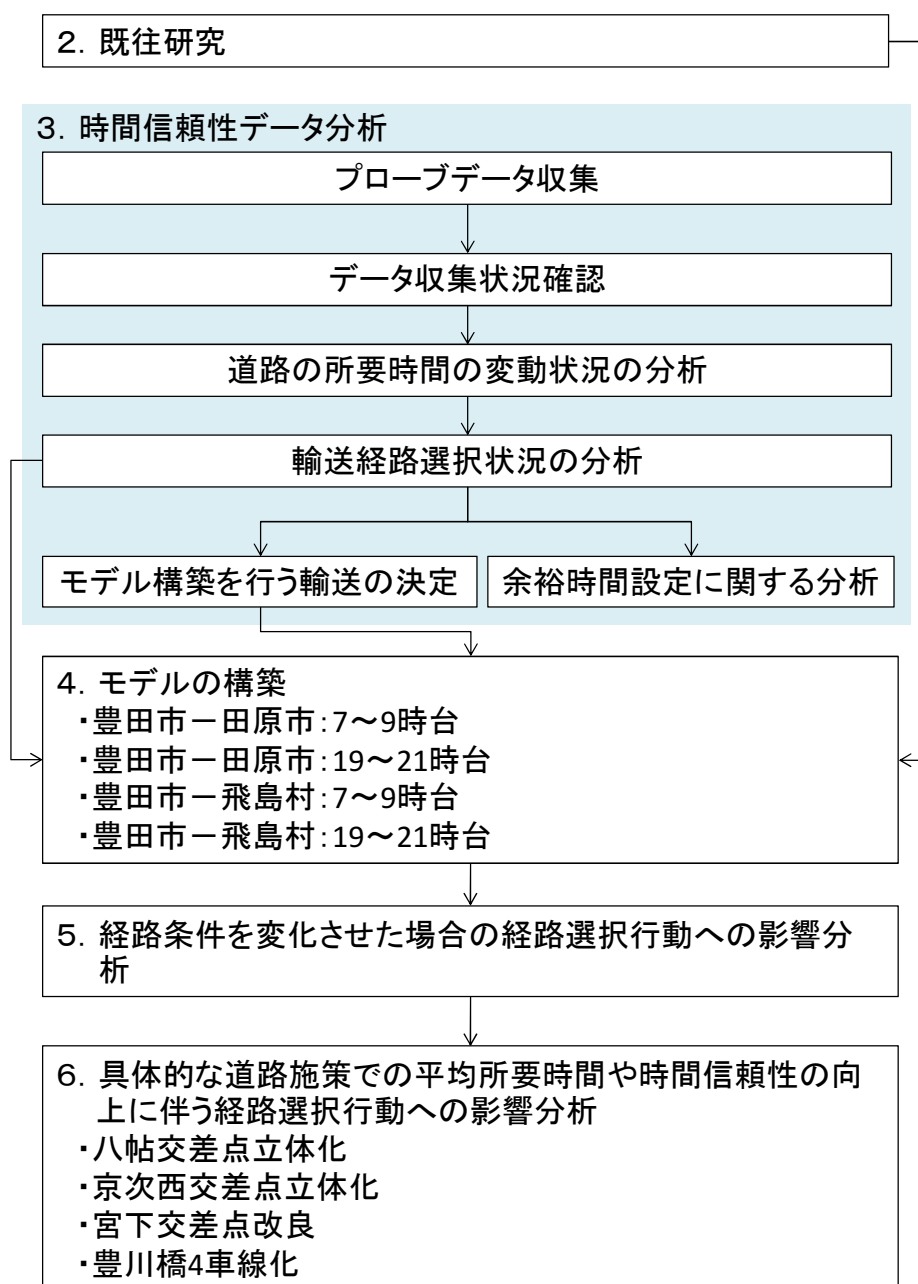


図 1-1 本研究の流れ

2. 既往研究

2-1 既往研究

本研究に関係する既往研究として、①政府等での時間信頼性指標に関する文献、②時間信頼性に関する指標や評価、分析についての研究論文、③時間信頼性、所要時間の変動を考慮した経路選択モデルに関する研究論文を収集した。

(1) 政府等での時間信頼性指標に関する文献

ア. ニュージーランドでの時間信頼性指標

ニュージーランドでは、Transfund New Zealand*から出されたプロジェクトを評価する手順を定めたマニュアルの中に、トリップの所要時間の信頼性が向上したことによる便益を評価する手法が記載されている。また、マニュアルでは、移動の標準偏差の算出方法、標準偏差値から便益を算出する方法が記載されている。Transfund では、標準偏差はリンクの長さの影響を受けにくいとし、交差点間の標準偏差の合成で OD ペア間の標準偏差を計算する。

* Transfund New Zealand は、2003 年陸上交通管理法に規定された政府の独立行政機関で（設立は 1996 年）、陸上交通に対する財源の配分に関して責任を負っている。

$$\text{旅行時間の標準偏差 } SD(TT) = S_0 + \frac{(S - S_0)}{1 + e^{\frac{b(V - a)}{c}}} \quad (\text{分}) \quad \cdots \quad (\text{式 1})$$

ここで、 S : 旅行時間の標準偏差の最大レベル
 S_0 : 旅行時間の標準偏差の基本非渋滞レベル
 V : 交通量、 c : 交通容量
 a : 曲線の中点での v/c
 b : 曲線の勾配を示す係数

なお、各係数 S_0 、 V 、 a 、 b は道路種類によって与えられる。

イ. イギリスでの時間信頼性指標の支払意思額の調査

LASP 法を用いて次に示す 3 つの時間指標について、被験者（貨物輸送業者）の支払意思額の調査を実施。ロジットモデルを用いてその値を算出し時間信頼性の価値を評価する。また、被験者である貨物輸送業者のタイプごと分類し、時間信頼性の値を算出している（例えばジャストインタイム方式を導入している企業と導入していない企業など）。

①自由走行時所要時間 (DT)

出発時刻を (T)、全てが完全に上手くいったときの最も早い到着時刻を (EA) とする。遅れ時間(DT: delay time)は (DT=EA-T) で定義される。要するに自由走行時の所要時間と言い換えることができる。道路改良で DT が減る可能性がある一方で、道路形状の変化や速度規制により DT が増加する。

②余裕時間 (SP)

到着予想時刻分布の累積 98%点での時間を (A98) とする。A98 と EA の差のことを余裕時間(SP: spread)と呼ぶ。渋滞により、移動時間が予測しづらくなると増加する。道路の交通容量が増加し、毎日が自由走行可能な状態に近づくと減少する。

③出発予定時間の遅れ (SH)

出発時刻が決定すると、出発時刻にいくらかの遅れをたす。これを望みどおりの時間に出发できない出発予定時間の遅れ (SH: schedule delay) という。使用しようと考えていた道路が完全に通行止めになっていたり、工事等で非常に時間がかかることが予想され、終了するまで出発するのは見合わせたほうが良いと考えられる場合に生じる。

ウ. イギリスでの時間信頼性指標

イギリスにおいても、所要時間の変動を考慮した走行時間短縮効果評価手法がマニュアルに記載されている。評価には、旅行時間の標準偏差または変動係数（旅行時間の標準偏差と平均旅行時間の比）を用いるべきであるとされ、所要時間変動の指標を計算するために、下記の指標が評価に用いられている。

- ・混雑指標（平均旅行時間と自由走行時の旅行時間の比）
- ・ゾーン間の距離

①変動係数 (CV) の推定手法

$$CV = 0.16ci^{1.02}d^{-0.39}$$

CV: 変動係数（旅行時間の標準偏差と平均旅行時間の比）

ci: 混雑指標（平均旅行時間と自由走行時の旅行時間の比）

d: 距離

②標準偏差の変化 ($\Delta\sigma_{ij}$) の推定手法

上記①の推計モデルは、旅行時間 t と距離 d から旅行時間の標準偏差を推測するために、以下のとおり書き換えることができる。ただし、これが適用されるエリアは、自由走行速度が 37~47km/h のエリアに限られる。

そこで、平均の自由走行速度を 44.5km/h (=0.01236km/秒) と置くと、政策実施前後における、OD_{ij}間の旅行時間の標準偏差の変化 ($\Delta\sigma_{ij}$) を下式から求めることができる。

$$\Delta\sigma_{ij} = 0.0018 \left(t_{ij2}^{2.02} - t_{ij1}^{2.02} \right) d_{ij}^{-1.41} \text{ (秒)}$$

$\Delta\sigma_{ij}$: OD_{ij}の旅行時間の標準偏差の変化 (秒)

t_{ij1} : OD_{ij}の政策実施前の旅行時間 (秒)

t_{ij2} : OD_{ij}の政策実施後の旅行時間 (秒)

d_{ij} : OD_{ij}の距離 (km)

なお、ここでは距離及び自由走行時速度が政策実施前後で変化しないことが仮定されている。

ウ. アメリカ

アメリカにおいては、都市内の道路を評価する評価指標として、所要時間の信頼性を考慮した、移動時間指標 (TTI)、余裕時間指標 (BTI)、計画時間指標 (PTI) を公表している。

①移動時間指標 (TTI)

移動時間指標は、ピーク時の交通状況と自由走行時の交通状況を比較するものである。この指標は、数学的な計算を簡単にするためと、MMP (Mobility Monitoring Program) のデータベース内にデータ要素が含まれていることから、移動時間の単位 (分/マイル) を使用する。また、TTI は同距離のトリップ移動時間の比較に直接使用することができる。

②余裕時間指標 (BTI)

余裕時間指標は、95%の確率で移動時間に間に合うために必要な超過「余裕」時間の量を表している。基準を指標化することによって、時間と距離にニュートラルの値を与えることが出来るが、実際の時間に関しては個人によって特定の距離もしくは、情報提供者によってある典型的な移動ルートの組に用いられるべきである。この指標は、道路区間ごとにそれぞれ計算され、台マイルで加重平均して算出される。

③計画時間指標 (PTI)

計画時間指標は単純に移動時間指標の 95%点であり、信頼性を測るための補助として用いられる。また、この指標はピーク時の移動を計画している大部分の人々の超過時間を表す。例を挙げると、指標が 1.60 の値を示したとき、移動者はオフピークでの移動時間に 60% 移動時間を増して移動時間を計画すれば、95%の確率で時間内に到着できる。

(2) 時間信頼性に関する指標や評価、分析についての研究論文

Noland ら(1995)は、既存の通勤時間の選択モデルを、旅行時間の不確実性の影響を含むように拡張。移動時間には混雑要素での所要時間の不確実性と確率分布で決まるランダム要素を含んでいる。コスト関数には時間コストに加え、遅刻に対するペナルティや早着と遅刻時間に対して 1 分毎に加算されるペナルティを含んでいる。期待コストが最小となるような通勤者最適な出発時刻を導出するモデル。ランダム要素が一様分布と指数分布の場合のモデルを構築している。

COHEN ら(1999)は、長く予期せぬ遅れを生む元である高速道路の事故によって失われる平均所要時間と所要時間の変動を推計するモデルを記述するとともに、日々の移動における事故などによる所要時間の変動の貨幣価値評価方法のレビューを実施。当研究によって、高速道路事故減少の対策を選択する草案段階において当研究の方法を利用することにより、対策の効果を判別することができる。

Nicholson ら(2003)は、氷雪や地震、火山活動や交通事故等のために道路閉鎖を余儀なくされるニュージーランドの都市間道路網の信頼性を評価するためにリスク評価およびマネージメントの手法を用いた。さまざまな期間に及ぶ通行止めの可能性と因果関係を考慮して、各種災害が引き起こす通行止めによってもたらされる年間当りの費用を推計した。各種災害の閉鎖期間の度数分布を推定するために、モンテカルロシミュレーションを用いた

若林ら(2004)は、冬季の降雪状況下で、高速道路や自動車専用道路がサービスレベルの低下を余儀なくされる場合の所要時間信頼性解析モデルを開発した。モデルにより、天気予報パターンから、各ルートの所要時間の変動予測を可能とした。また、降雪時の所要時間への影響分析、ドライバーへの情報提供、新線整備による効果の検討、除雪設備等の整備効果分析も可能である。

牛若ら(2004)は、阪神高速道路東大阪線利用者の 6 週間のダイアリー調査データを用いて、所要通勤時間の平均値と分散、他の道路や公共交通利用等を想定した SP 調査における、認知所要時間と所要時間変動の関係を分析した。セーフティーマージンは平均所要時間に大きく影響されることを示している。

Ensor(2004)は、ニュージーランドでの時間信頼性の評価マニュアルをもとにして時間信頼性評価の方法を記述している。旅行時間の変動が経路の混雑率に影響されるとし、その影響を定量的に推計する関数を設定している。さらに、設定した関数に基づいて政策プログラム評価に時間信頼性を用いる手法の手順を示している。

永広ら(2005)は、路線バスのプローブデータを用いて、ネットワークの所要時間を推定

する手法を紹介した。バス停の影響の除去法、リンク所要時間分布の合成による OD 間所要時間推定法等を説明している。

塚田ら(2006)は、英国交通省により、英国道路庁が管理する主要幹線道路ネットワークの移動時間信頼性(遅れ時間)を試算し評価したレポートに記載された具体的な評価手順を解説・紹介している。

高山ら(2006)は、道路整備効果を走行所要時間の時間信頼性の観点から評価する方法を提案し、道路整備の建設パターンと交通需要の OD パターンの組合せから、より効果的な道路整備計画の考え方を明らかにした。時間信頼性指標とは OD 間の旅行時間の分散(不確実性)を用いたもとし、交通需要の変動を考慮した時間帯別均衡配分モデルを用いて各 OD に関する時間信頼性を計算する方法を提案した。

Al-Deek(2006)は、所要時間信頼性では、ワイブル分布を仮定したときの信頼性の評価方法を提案している。リンクでの所要時間信頼性と経路での信頼性、ネットワーク全体での信頼性を評価する手法を提案している。

小松ら(2007)は、交通流の変化を考慮した旅行時間の変動を時間信頼性の変化として把握する方法を提案した。このモデルを単純ネットワークへ適用し、道路拡幅前の旅行時間変動と道路拡幅後の旅行時間の比較を行い、既存道路の改良再生による時間信頼性の向上を検証した。これによって効果的な既存道路の改良箇所の把握や道路整備計画の考え方を明らかにした。

長尾ら(2007)は、「確率ネットワーク均衡モデル」を用いた時間信頼性の評価を行うための指標について検討し、金沢道路ネットワークを事例として時間信頼性の評価を行った。時間信頼性指標の算出し、金沢市の道路ネットワークの時間信頼性評価を実施した。

Ji-shuang ら(2007)は、モンテカルロシミュレーションを用いて、所要時間信頼性の評価を実施している。

Fowkes(2007)は、予定の所要時間と実際の所要時間の変動の減少による貨物車の便益のユーザー評価のベストな方法の確立を検討。はじめに、誰がこれらの便益を受けるのかを探し、さらに探求するためのケースを検討。理論的考察ではその後、推計された時間価値がいくつかの異なった影響の合成に近いことを示した。適応選好意識調査法が用いられ、結論として、いくらかの余分な時間がスケジュールに組み込まれていること、早くに到着することのインセンティブは小さいこと、予定の所要時間の短縮の価値は貨物車にとっては比較的小さいことなどが示された。

Asensio ら(2007)は、通勤者の所要時間信頼性について、バルセロナでの選好意識調査を用いた実験的な分析を実施した。回答者は異なるコスト、平均所要時間、所要時間の変動、出発時刻の選択肢から選択する。様々な特徴を持つスケジュール選択モデルを用いて分析した結果、所要時間の変動は、平均所要時間の短縮にくらべて平均 2.4 倍の価値があることが示された。

Dimitriou ら(2007)は、離散的なネットワーク設計問題に信頼性の条件を考慮し、組合せ確率論的 2 層プログラミング問題として定式化した。信頼性の条件を入れた場合、入れない場合での結論について、仮想リンク全体の総移動時間コストと建設コストを試算した。

(3) 時間信頼性、所要時間の変動を考慮した経路選択モデルに関する研究論文

藤井ら(1999)は、運転者の認知所要時間を確率変数と捉えた上で期待効用最大化仮説を適用するというアプローチによる経路選択モデルを構築している。モデルの特徴としては、①運転者の認知所要時間を確率変数と捉え所要時間の不確実性を考慮した行動モデルである点、②不確実性への態度の個人間の差異を考慮している点、③誤差項の異分散性を考慮した推定計算がなされている点、④母集団と推定サンプルの乖離を軽減するため重み付き最尤推定法を用いてパラメータ推定がなされている点、等が挙げられる。

田中ら(2000)は、経路選択行動に影響を及ぼす要因の 1 つとして交通情報の不確実性に着目し、経路選択行動のモデル化を行っている。交通情報とドライバーの知覚所要時間は確率変数として扱い、ベイズの定理に基づき、交通情報入手前の知覚所要時間と交通情報から、交通情報入手後の知覚所要時間を導出するモデルを構築している。

谷口ら(2001)は、所要時間の不確実性を考慮した確率論的配車配送計画モデルを定式化した。モデルでは、顧客への訪問指定時間および早着・遅刻ペナルティを考慮し、到着時刻を確率論的に取り扱っている。このモデルと動的交通シミュレーションを統合したモデルを開発している。仮想ネットワークでの分析によって、確率論的配車配送計画モデルを用いた場合、所要時間として一つの予測値を用いる配車配送モデルよりも物流費用が 11～17%削減される結果が得られた。

Yin ら(2004)は、リスクに対応するための出発時刻や経路選択などの意思決定プロセスを表現するモデルを構築。通勤者の出発時刻や経路選択に関連する予想される不効用項を、混雑による遅れや、事故による不確実性や、早着や遅刻ペナルティを考慮して定式化した。

Bell(2004)は、確率は低いが重要である事故に着目し、交通ネットワーク信頼性の配送問題への適用にゲーム理論を用いた。最小コストの経路を探索する配車係とリンクに障害をもたらすパワーをもったデーモンとの 2 プレーヤーのゲームを考え、リスク回避行動は、2

プレーヤーの観点でいえば、配車係と配車係を邪魔しようとする分身のようなデーモンとの非協力ゼロサムゲームと解釈し、配車係が経路を選択するモデルを構築している。

Lo ら(2005)は、移動者は、経路の旅行時間の変動を過去の経験から得て、変動をトラベルタイムバジェットという形で経路選択に考慮すると仮定した。さらに、移動者はトラベルタイムバジェットを最小化しようとするとして仮定し、不均一なリスク回避や遅れない到着の必要性を含んだ移動者の経路選択行動をつかむため、多分類混合均衡数学プログラムを定式化した。

中山ら(2006)は、事故や災害などが生じていない通常の交通状況下で、交通量・旅行時間の変動の主要な原因の一つである交通需要の変動に着目し、交通需要が正規分布に従って確率変動するとともに、配分された交通量も正規分布に従う確率的な交通ネットワーク均衡モデルを提案している。

Fan ら(2006)は、時間信頼性を最大にするための最適経路アルゴリズムを基礎とした、動的プログラミングを構築し、信頼性最大化と経路最小化の関連を示した。

Chen ら(2007)は、混合戦略タイプ確率的経路選択モデルを用いて経路の選択に人々の時間信頼性要求度が影響してくることを提示し、それにより経路ごとの旅行時間や時間信頼性も変動するというモデルを提案している。

長尾ら(2009)は、軌道系交通機関の導入効果やその影響をより正確に分析するため、道路交通の旅行時間の不確実性を考慮するとともに、道路交通と軌道系公共交通との分担および配分を統一的に行うネットワーク均衡モデルを提案している。モデルの中で、旅行時間の不確実性は、OD 交通量を確率変数として与え BPR 関数で道路リンクの旅行時間を計算することで考慮している。

中村ら(2009)は、顧客間の経路選択において、リンクにおける出発時刻による所要時間の変動、日々の変化による所要時間の変動を内包した経路探索モデルを適用している。仮想道路ネットワークと現実的な道路ネットワークにおいて経路探索手法を用いて、顧客間経路を決定し、配車配送計画を策定している。

安東ら(2010)は、道路ネットワーク上のリンクの所要時間が正規分布に従うと仮定した上で、現代ポートフォリオ理論の平均分散アプローチを援用し、所要時間の平均と分散をパラメータにもつ経路の評価関数を提案し、評価関数を用いて、出発地から目的地までの経路の中から最適な経路を決定する手法を構築している。経路の評価関数としては平均所要時間に対する標準偏差値の重みを設定するものであり、道路利用者のニーズに応じて設定可能である。

2-2 本研究の位置づけ

所要時間の不確実性を考慮したモデルの構築は、長尾ら（2007）など、旅客交通を対象とした検討が多い。さらに、Lo ら(2006)は、移動者は、経路の所要時間の変動を過去の経験から得て、変動をトラベルタイムバジェットという形で経路選択に考慮すると仮定し、トラベルタイムバジェットを含んだ混合均衡式を定式化している。Fan ら(2006) は、時間信頼性を最大にするための最適経路アルゴリズムを基礎とした、動的プログラミングを定式化している。また、貨物交通に焦点をあてた研究では、谷口ら（2001）が、所要時間の不確実性を考慮した配車配送計画モデルを構築している。交通事故等の突発事象に対するリスクを回避するモデルとしては、Bell（2004）が、ゲーム理論を用いて、配車係とリンクに障害を起こすデーモンとのゲームとしてモデル化している。

従来の研究においては、日常の所要時間変動または突発事象のいずれかに対する経路選択行動を規定するモデルの研究が行われているが、両者を考慮した経路選択行動についての研究は見られない。そこで、本研究では、所要時間の不確実性と交通事故等の突発事象に対するリスクを回避する経路選択モデルの構築を検討する。

また、貨物車輸送においては、同一目的地に対して同一経路でなく、複数の経路を使い分けている実態がある。物流事業者は、遅着を回避するために、所要時間に対する余裕を見込むとともに、経路に対する余裕を見込んで運行を実行しており、必ずしも最短時間・最短コストの経路のみを選択しているというわけではない。モデル構築の視点として、複数の経路の中からの経路選択率を予測可能であるモデルの構築を試みる。

日常の所要時間変動や突発事象のリスクに対して、過去の経験も考慮に入れて複数の経路に対する経路選択率を決定するというモデルを構築することで、政策決定者としては貨物交通の実態に即して道路事業による貨物車交通の経路選択率の変化を予測でき、物流事業者としては道路事業により選択すべき経路選択率を実際に経験しなくとも把握することが可能となる。

2－3 参考文献

(1) 政府等での時間信頼性指標に関する文献

1. A S Fowkes, A E Whiteing; The Evaluation of Delays to Freight on the Trunk Road Network -Final Report to the Highway Agency, 2001
2. Transfund New Zealand, Beca Carter Hollings & Ferner Ltd, Sinclair Knight Merz : Methodology to assess the benefits of improved trip reliability: final report, 2002
3. Transfund New Zealand, Beca Carter Hollings & Ferner Ltd, Sinclair Knight Merz : Project evaluation benefit parameter values, 2002
4. Transfund New Zealand, Beca Carter Hollings & Ferner Ltd, Sinclair Knight Merz: Project evaluation benefit parameter values, 2002
5. Transfund New Zealand:Project Evaluation Manual, Amendement No.8, 2004
6. Federal Highway Administration:Traffic Congestion and reliability-Linking Solutions to Problems,2004
7. Department for Transport: Transport Analysis Guidance (TAG), The Reliability Sub-Objective TAG Unit 3.5.7, 2008.6

(2) 時間信頼性に関する指標や評価、分析についての研究論文

- 8.Noland, R., Small, K.: Travel time uncertainty, departure time choice and the cost of the morning commute, Transportation Research Record, 1493, 150-158, 1995
- 9.HARRY COHEN, FRANK SOUTHWORTH: On the Measurement and Valuation of Travel Time Variability Due to Incidents on Freeways, Journal of transportation and statistics, 123-131, 1999
- 10.若林拓史、坂部正治、吉崎理絵：降雪予報下における高規格道路網の所要時間信頼性解析、土木計画学研究・講演集、24、2001
- 11.Nicholson, Alan; Dalziel, Erica; “Risk Evaluation and Management: A Road Network Reliability Study”, The network reliability of transport : proceedings of the 1st International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR) , Michael G.H. Bell, Yasunori Iida.(ed.), Pergamon, 2003, pp.45-59
- 12.牛若健吾、菊池輝、北村隆一：所要時間の認知に基づくセーフティーマージンの要因分析、2004
- 13.Matt Ensor : A PROCEDURE FOR EVALUATING THE TRIP RELIABILITY BENEFITS FROM INDIVIDUAL ROADING PROJECTS,INSTR 2004 2nd, 2004
- 14.永広悠介、宇野伸宏、田村博司：バスプローブデータを利用した所要時間信頼性評価手法の構築、土木計画学研究・講演集、31、2005
- 15.塚田 幸広、前川 友宏：英国における主要幹線道路ネットワークの移動時間信頼性評価、

道路、785、60-62、2006

- 16.高山純一、中山晶一郎、小松良幸（金沢大 大学院自然科学研究科）、交通需要の不確実性による時間信頼性指標を用いた道路整備評価に関する研究、2006
- 17.Haitham al-deek, Emam b. emam(Central Florida Univ):New methodology for estimating reliability in transportation Networks with degraded link capacities,2006
- 18.小松良幸、中山晶一郎、高山純一：リンクレベルでの渋滞変化を考慮した時間信頼性指標に関する研究、土木計画学研究・講演集、35、2007
- 19.長尾一輝、中山晶一郎、高山純一：旅行時間の不確実性を考慮した確率ネットワーク均衡モデルを用いた時間信頼性評価手法:金沢道路ネットワークを例に、土木計画学研究・講演集、36、2007
- 20.Zhu Ji-shuang, Zhang Ning, Guan Yu(Beijing Univ): Integrated Model of Capacity and Travel Time Reliability of Urban Road Networks,2007
- 21.Tony Fowkes: The design and interpretation of freight stated preference experiments seeking to elicit behavioural valuations of journey attributes , Transportation Research B, 966-980 , 2007
- 22.Javier Asensio, Anna Matas: Commuters' valuation of travel time variability , Transportation Research Part E, 2007
- 23.Loukas dimitriou, Theodore tsekeris, Antony Stathopoulos: Evolutionary Combinatorial programming for discrete road network design with reliability requirements, 2007

（３）時間信頼性、所要時間の変動を考慮した経路選択モデルに関する研究論文

- 24.藤井聡、守田武史、北村隆一、杉山守久：不確実性に対する態度の差異を考慮した交通需要予測のための経路選択モデル,土木計画学研究・論文集,No16, 1999
- 25.田中俊祐、小川圭一、宮城俊彦：所要時間情報の不確実性による経路選択行動への影響に関する研究、2000
- 26.谷口、山田、柿本：所要時間の不確実性を考慮した都市内集配トラックの確率的配車配送計画、土木計画学論文集, No.674, pp.49-61, 2001
- 27.Yin, Lam, Ieda: New technology and the modeling of risk-taking behavior in congested road networks, 2004
- 28.Micheal G.H.Bell: Games,Heuristics,and Risk Averseness in Vehicle Routing Problems, J.Urban Planning & Development, pp.37-41, 2004
- 29.Hong K. Lo, X.W. Luo, Barbara W.Y. Siu(Hong Kong Univ): Degradable transport network: Travel time budget of travelers with heterogeneous risk aversion, 2005
- 30.中山晶一郎、高山純一、長尾一輝、所俊宏：現実道路ネットワークの時間信頼性評価のための確率的交通均衡モデル及びそれを用いた情報分析、土木学会論文集D、vol.62,No.4, pp.526-536、2006
- 31.中山晶一郎、高山純一：交通需要と経路選択の確率変動を考慮した確率的交通ネットワ

- ーク均衡モデル、土木学会論文集 D、vol.62,No.4、2006
- 32.Yueyue fan, Yu nie(California Univ): Optimal routing for maximizing the travel time reliability, 2006
33. Jingmin Chen,Wei Wang,Lin Cheng(School of Transportation Southeast University): Considering Travel Time Reliability in Route Choice Behavior under Uncertain Demand, INSTR 2007 3rd,2007
- 34.安東直紀、谷口栄一、山田忠史、川本宗由：経路学習を用いた配車配送計画厳密解の実配送への適用に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol..35、2007
- 35.長尾一輝、中山晶一郎、高山純一、円山琢也：旅行時間の不確実性を考慮した分担・配分統合交通ネットワーク均衡モデルに関する研究、土木学会論文集 D Vol.65 No.1、pp12-25、2009
- 36.中村有克、谷口栄一、山田忠史、安東直紀：配車配送計画における所要時間変動を考慮した顧客間経路選択の効果に関する研究、土木計画学研究・論文集 Vol.26 No.4 pp.731-741、2009
- 37.安東直紀、有馬和輝、中村有克、山田忠史、谷口栄一：道路ネットワークにおける所要時間の平均と分散を考慮した最適経路決定手法に関する研究、土木計画学研究・論文集 Vol.27 pp.779-786、2010

3. 時間信頼性データ分析

本章の分析、4章以下で行うモデル構築においては、愛知県の製造業者および運送業者から得られたプローブデータをもとに実施する。本章ではデータ収集の概要を示すとともに、収集データをもとに、各物流事業者が考慮していると考えられる余裕時間の実態について分析するとともに、経路の選択状況の実態を分析した。

3-1 データの収集

(1) 収集の概要

H20 年度および H21 年度に実施された、戦略的物流システム研究会（中部地方整備局）において、製造業者 2 社、物流事業者 2 社の協力のもと、各社の貨物車にプローブ車載器（PhoneGPS）を搭載し、計 579 台の車両でプローブデータを取得した。

表 3-1 プローブデータ収集車両数

| | A 製造業者 | B 製造業者 | C 運送業者 | D 運送業者 | 合計 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 協力貨物車 台数 | 105 台 | 203 台 | 164 台 | 112 台 | 579 台 |

(2) 収集期間

2008 年 10 月 6 日（月）～31 日（金）

注）2008 年 10 月 14 日（火）0 時～24 日（金）18 時は東名集中工事（東京 IC～小牧 IC）
期間

昼夜連続車線規制、インターチェンジ夜間閉鎖を実施

(3) 収集方法

- ・GPS 機能付き携帯電話端末（PhoneGPS）を物流車両に搭載してプローブデータを取得

注）PhoneGPS は、（株）三菱総合研究所が開発した、GPS 携帯電話を用いて端末の位置を自動測位、測位データや画像データを自動送信し、web 上で提供するサービス。

(4) 収集内容

①データ取得項目

- ・車両 ID
- ・年月日および時刻情報
- ・位置情報（緯度、経度）

②データ取得間隔

- ・2 秒間隔

③データ収集方法

- ・エンジン稼働時にデータ取得

(5) データ加工

- ・取得したデータを DRM ヘマップマッチングを行い、DRM リンクごとの起点の通過時刻（DRM 区間走行開始時刻）、終点の通過時刻（DRM 区間走行終了時刻）、所要時間のデータに加工

表 3-2 プローブデータ加工内容

| No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-------|---------|-------|-----------|------------|-----------|-----------|-------|------|--------------|--------------|------|
| データ項目 | 車種コード | 車両識別コード | 調査年月日 | DRM リンク方向 | 2 次メッシュコード | DRM ノード 1 | DRM ノード 2 | リンク延長 | 道路種別 | DRM 区間走行開始時刻 | DRM 区間走行終了時刻 | 所要時間 |

表 3-3 データ内容例

| 車種コード | 車種識別コード | 調査年月日 | DRMリンク方向 | 2次メッシュコード | DRMノード1 | DRMノード2 |
|-------|---------|----------|----------|-----------|---------|---------|
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 202 | 760 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 760 | 10449 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 10449 | 10466 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 10466 | 10472 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 2 | 523740 | 10472 | 1241 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 1241 | 11607 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 11607 | 11608 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 2 | 523740 | 11608 | 1243 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 1243 | 1245 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 1245 | 1247 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 1247 | 11609 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 2 | 523740 | 11609 | 1249 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 2 | 523740 | 1249 | 248 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 248 | 1250 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 1250 | 1363 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 1265 | 1267 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 1 | 523740 | 1267 | 10786 |
| 10 | 1451 | 20081002 | 2 | 523740 | 10786 | 310 |

| リンク延長(m) | 道路種別 | DRM区間走行開始時刻 | DRM区間走行終了時刻 | 所要時間(s) |
|----------|------|-------------|-------------|---------|
| 25 | 3 | 10755 | 10758 | 2.84 |
| 80 | 4 | 10758 | 10803 | 5.04 |
| 161 | 4 | 10803 | 10813 | 9.58 |
| 121 | 4 | 10813 | 10821 | 7.81 |
| 113 | 4 | 10821 | 10828 | 7.62 |
| 475 | 4 | 10828 | 10857 | 28.87 |
| 90 | 4 | 10857 | 10904 | 7.1 |
| 121 | 4 | 10904 | 10911 | 7.19 |
| 86 | 4 | 10911 | 10917 | 5.64 |
| 231 | 4 | 10917 | 10932 | 14.88 |
| 58 | 4 | 10932 | 10947 | 15.29 |
| 205 | 4 | 10947 | 11003 | 15.7 |
| 73 | 4 | 11003 | 11007 | 4.63 |
| 48 | 4 | 11007 | 11011 | 3.69 |
| 106 | 4 | 11011 | 11022 | 11.29 |
| 136 | 6 | 42908 | 42915 | 7.29 |
| 213 | 6 | 42915 | 42930 | 14.7 |
| 311 | 6 | 42930 | 42950 | 20.84 |

3-2 愛知県周辺の所要時間変動の状況分析

3-2-1 道路区間別変動係数の状況

本項では、DRM 区間毎に、所要時間の変動係数を求め、区間毎にデータを比較し、所要時間の変動の多い区間・少ない区間の検証を行った。変動係数は、標準偏差を平均値で除した係数であり、データの変動の程度を示す係数である。所要時間の標準偏差も変動の程度を示す係数であるが、道路区間毎の区間長がそれぞれ異なるため、異なる区間の変動の程度を比較することができない。そのため、標準偏差を平均値で除す変動係数により、変動の程度がどの区間で大きいのかを把握することができる。所要時間の変動係数は、下記の式で求めた。

$$CV = \sigma_i / \mu_i \quad (3.1)$$

ここで、 σ_i : 区間 i の所要時間の標準偏差

μ_i : 区間 i の平均所要時間

$$\sigma_i = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (x_{it} - \mu_i) \quad (3.2)$$

$$\mu_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_{it}) \quad (3.3)$$

ここで、 x_{it} : 区間 i の t 回目の所要時間

プローブデータ取得期間中に東京 IC～小牧 IC において、東名集中工事（2008 年 10 月 14 日（火）0 時～24 日（金）18 時）が行われた。分析やモデル作成に当たり、使用データの検証を行うため、東名工事期間中と期間外での差異を分析した。

(1) 東名工事が無い期間の変動係数の状況

知立市、刈谷市、安城市、豊田市、岡崎市、豊橋市など、愛知県の中央から南東部において通行している道路が多い。名古屋市近辺における通行もあるものの、実際の道路密度に比べると通行している道路が少ない。このことから、PhoneGPS を搭載した貨物車はその周辺での輸送を主に行っていることが分かる。特に、豊田 JCT 北部からその西部の知立市にかけて通行している道路が多く、変動係数の高い道路も多い。さらに、岡崎市の西南、西尾市との市境に近い場所においても変動係数の高い道路が多くみられる。

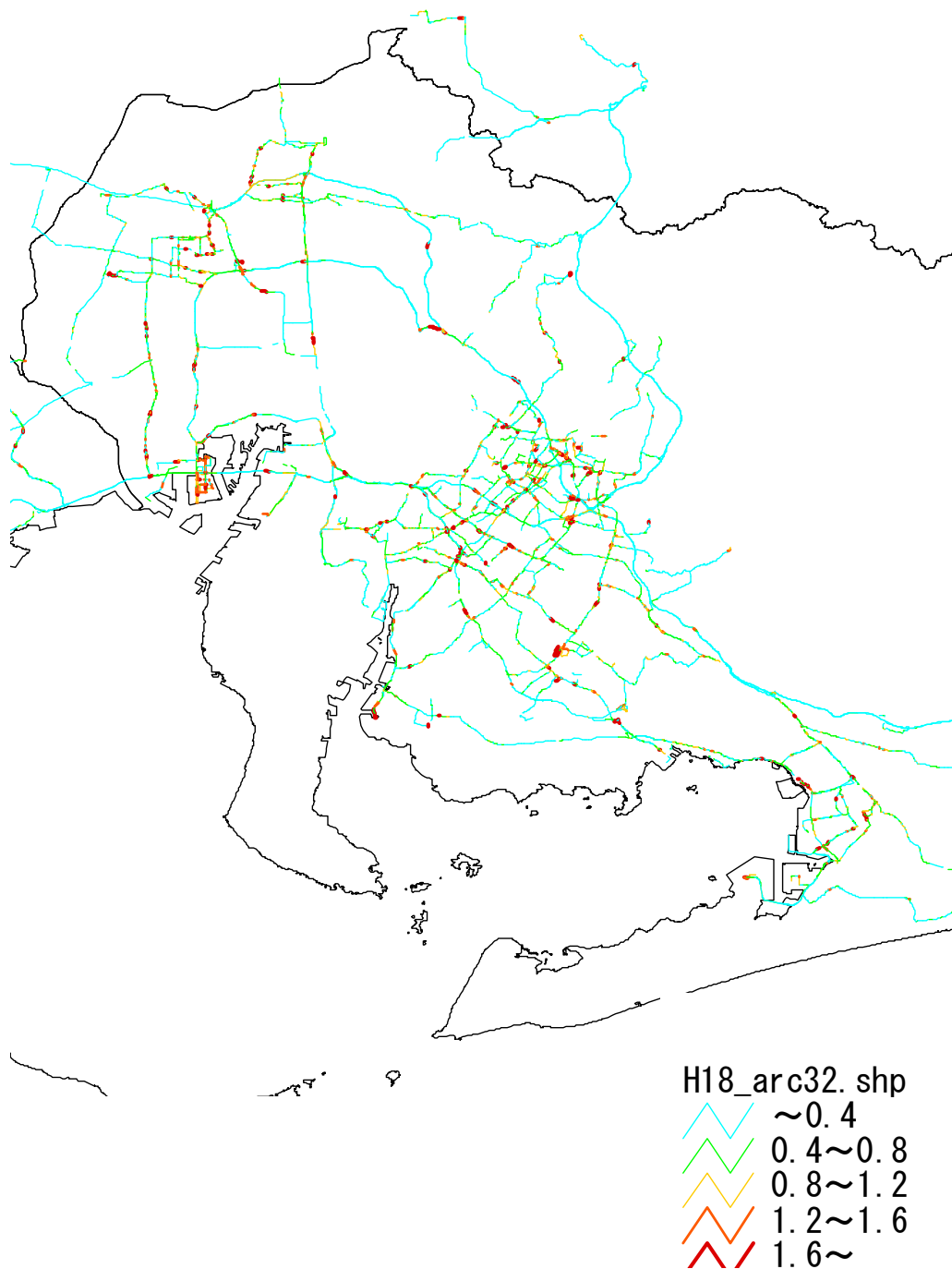


図 3-1 東名工事なし期間の変動係数

（２）東名工事が行われた期間の変動係数の状況

東名工事が行われた期間においては、特に岡崎市近辺で変動係数が高い（赤い色の線）が多くなっている。これは、東名工事期間であったために東名でなく一般道を走行した車両のために通常より交通量が多く、混雑により所要時間の変動が大きくなったことが要因として挙げられる。さらに、東名高速道路においても赤やオレンジの変動係数が高い区間が期間外に比べて多い。本研究では、東名工事期間は期間外とは交通流の状況が異なるために分析データから排除して分析・モデル構築に用いるデータの作成を行う。

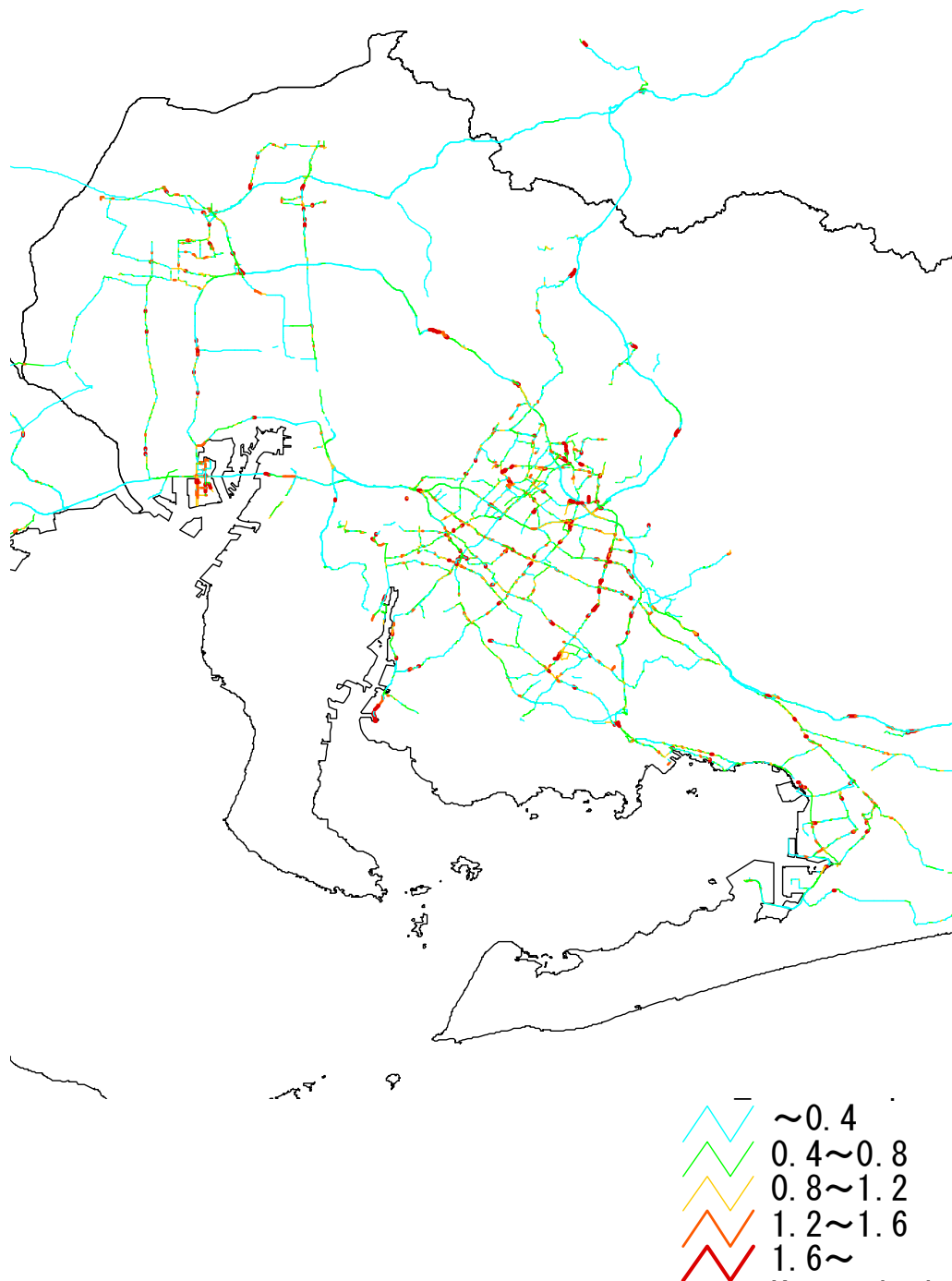


図 3-2 東名工事有りの期間の変動係数

【参考】道路種別道路網図



図 3-3 道路種別道路網図

3-3 貨物車の走行特性の分析

(1) 全車の道路種別別走行割合

プローブ車載器を搭載した貨物車の全車が走行している道路種別を集計すると、高速道路が約 57%、国道が約 23%、都道府県道が約 14%、市町村道が約 6%であった。H17 年道路交通センサス一般交通量調査の走行台キロ割合と比較すると、プローブ車載器を搭載した貨物車は高速道路の利用割合が高いことが分かる。これは、貨物車の平均的な走行距離分布よりも長距離移動をする貨物車が多いためであると考えられる。

時間帯別に見ると、22～6 時台の高速道路利用率が最も高く 60%を超えている。これは、長距離の輸送を行う貨物車が、夜に出発して朝につく行動をし、長距離貨物車は高速道路を利用する移動が多いためであると考えられる。

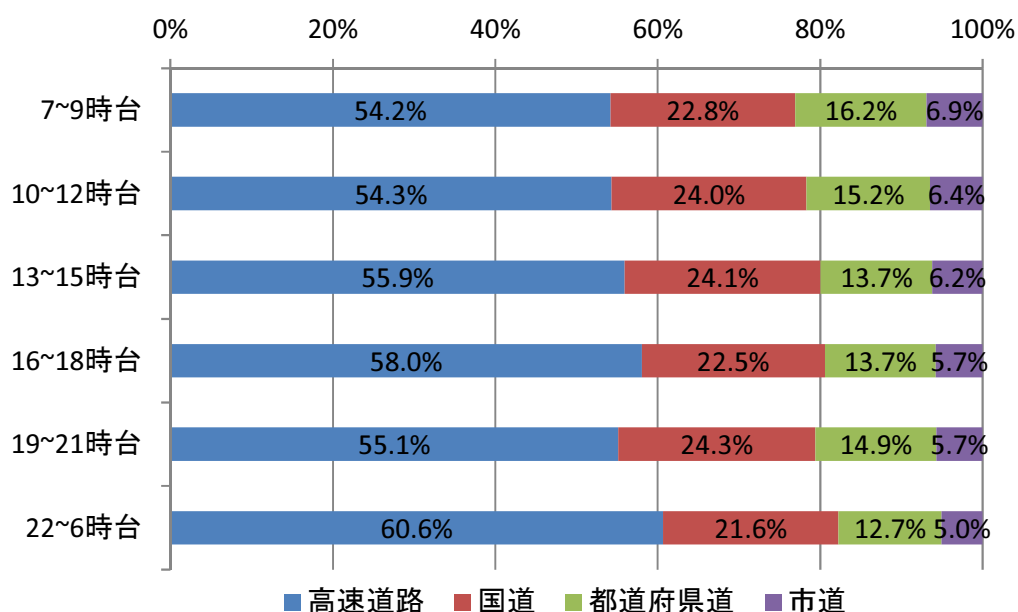


図 3-4 時間帯別道路種別走行割合（調査対象車両全車）

H17 年道路交通センサス一般交通量調査の全国の小型貨物車と普通貨物車の時間帯別交通量に各区間の区間長を乗じた走行台キロの比率を高速道路、国道、都道府県道別に算出すると下図のようになる。また、昼間のみを集計対象としたが、これは、道路交通センサス一般交通量調査で 24 時間調査を実施している区間は一部区間に限られ、規格の高い高速道路や国道がより多いことから、本分析には適切ではないと考えたためである。走行台キロは下記の式によって求めた。

$$VKT_o = \sum_i \sum_m Q_{im} \times L_i \quad (3.4)$$

ここで、 VKT_o ：道路種別 o の走行台キロ

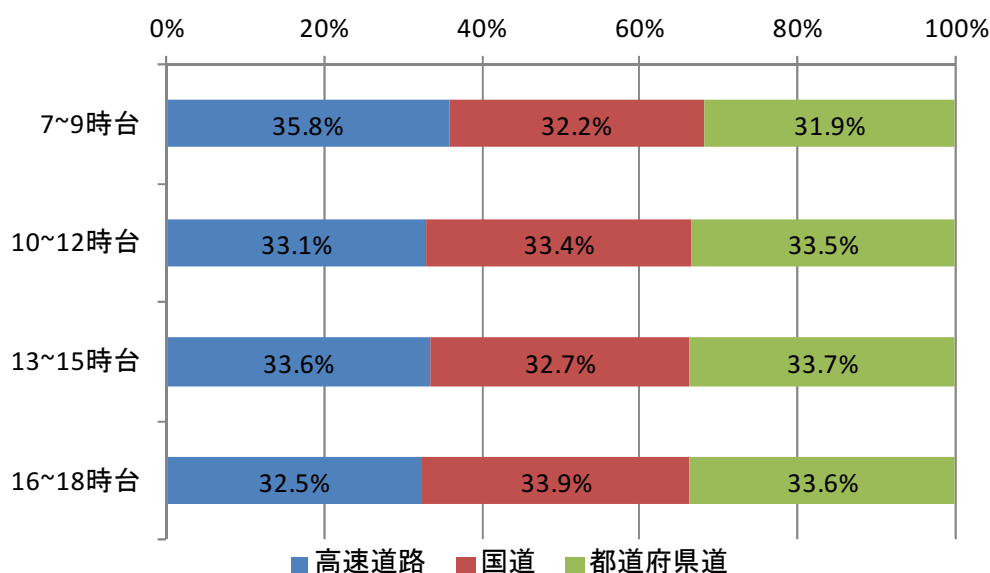
Q_{im} ：区間 i 、車種 m の交通量

L_i ：区間 i の区間長

i ：区間、 m ：車種（小型貨物車、普通貨物車）、

o ：道路種別（高速道路、国道、都道府県道）

結果としては概ね、高速道路と国道、都道府県道の割合が等しい状況であった。時間帯別には、10～12 時台、13～15 時台、16～18 時台においてはほぼ同じ比率であったが、7～9 時台においては、高速道路の走行台キロ割合が約 36% となり、他の時間帯に比べて高速道路の走行台キロ割合が高かった。これは、混雑時間帯にはより高速道路を利用する傾向にあることが理由として考えられる。



出典) H17 年道路交通センサス一般交通量調査より作成

図 3-5 時間帯別道路種別走行割合（道路交通センサス台キロ割合）

(2) 愛知県、岐阜県内の輸送を行う貨物車の道路種別別走行割合

愛知県、岐阜県内の輸送を行う貨物車が走行している道路種別を集計すると、高速道路が約 33%、国道が約 31%、都道府県道が約 26%、市町村道が約 11%であり、全車に比べて高速道路を利用する割合が低く、都道府県道、市町村道を利用する割合が高い。H17 年道路交通センサス一般交通量調査より作成した走行割合に近い分布となっている。このことから、愛知県、岐阜県内の輸送が概ね全国の平均トリップ長に近い平均トリップ長となっていることが推測される。

時間帯別に見ると、16～18 時台の夕ピーク時において最も高速道路利用率が高く、7～9 時台、22～6 時台の高速道路利用率が高い。これは、混雑している夕ピーク時に高速道路を利用する貨物車が多いためであると考えられる。国道利用の割合は 13～15 時台が最も高く、他の時間帯が 30%前後であるのに対して約 2%高くなっている。

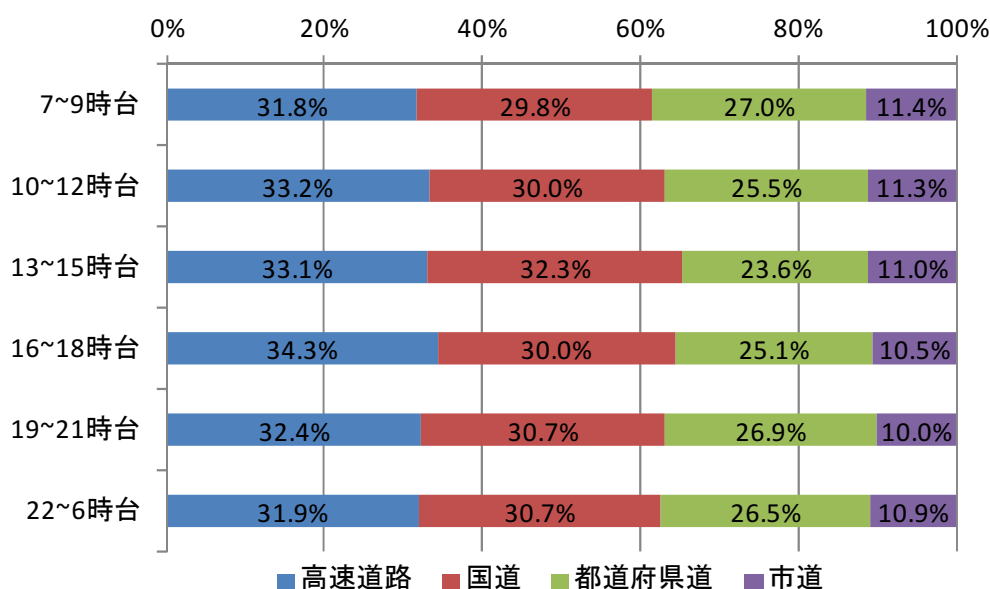


図 3-6 時間帯別道路種別走行割合（愛知県、岐阜県内の輸送のみ）

(3) 全車の道路種別別平均旅行速度

時間帯別道路種別別に貨物車の平均旅行速度を集計すると、7~9 時台の旅行速度が最も低く、16~18 時台が次いで低い。平均すると、高速道路が 68.5km/h で、国道が 39.0km/h で、都道府県道が 29.3km/h で、市道が 26.6km/h であった。平均旅行速度は下記の様に求めた。

$$V_o = VKT_o / VH_o \quad (3.5)$$

ここで、 V_o ：道路種別 o の平均旅行速度

VKT_o ：道路種別 o の走行台キロ

VH_o ：道路種別 o の走行台時

$$VKT_o = \sum_i \sum_m Q_{im} \times L_i \quad (3.6)$$

Q_{im} ：区間 i 、車種 m の交通量

L_i ：区間 i の区間長

i ：区間、 m ：車種（小型貨物車、普通貨物車）、

o ：道路種別（高速道路、国道、都道府県道）

$$VH_o = \sum_i \sum_m Q_{im} \times TT_i \quad (3.7)$$

Q_{im} ：区間 i 、車種 m の交通量

TT_i ：区間 i の平均所要時間

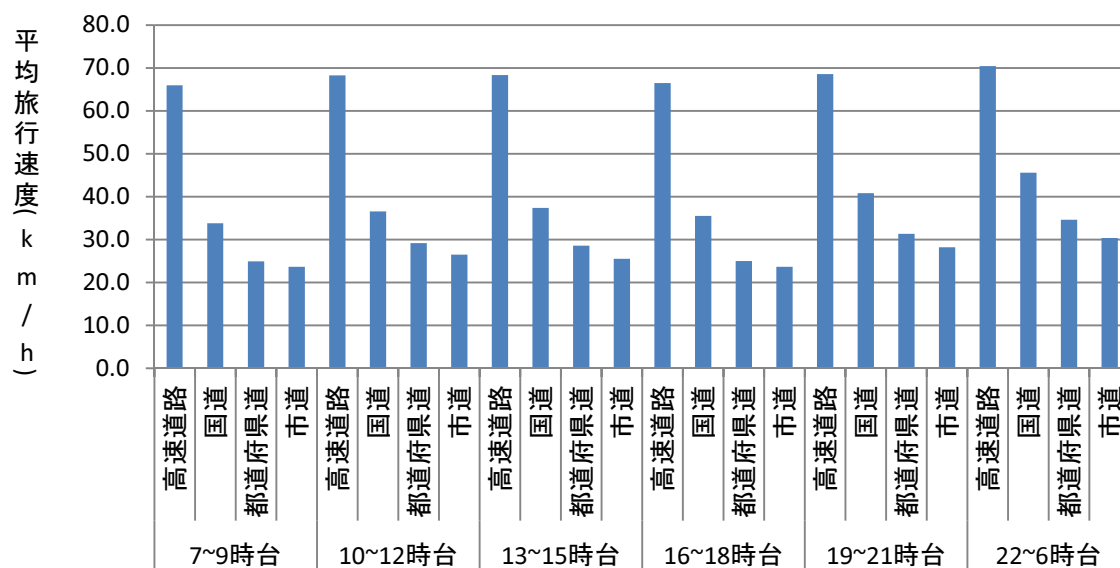


図 3-7 時間帯別道路種別平均旅行速度

(4) 愛知県内の輸送を行う貨物車の道路種別別平均旅行速度

時間帯別道路種別に愛知県、岐阜県内の輸送を行う貨物車の平均旅行速度を集計すると、全車の傾向と同様に、7～9時台の旅行速度が最も低く、16～18時台が次いで低い。平均すると、高速道路が 58.9km/h で、国道が 33.9km/h で、都道府県道が 28.3km/h で、市道が 25.9km/h であった。また、全体的に全車に比べて平均旅行速度が低い傾向にある。

なお、計算は、(3) と同じ方法にて行った。

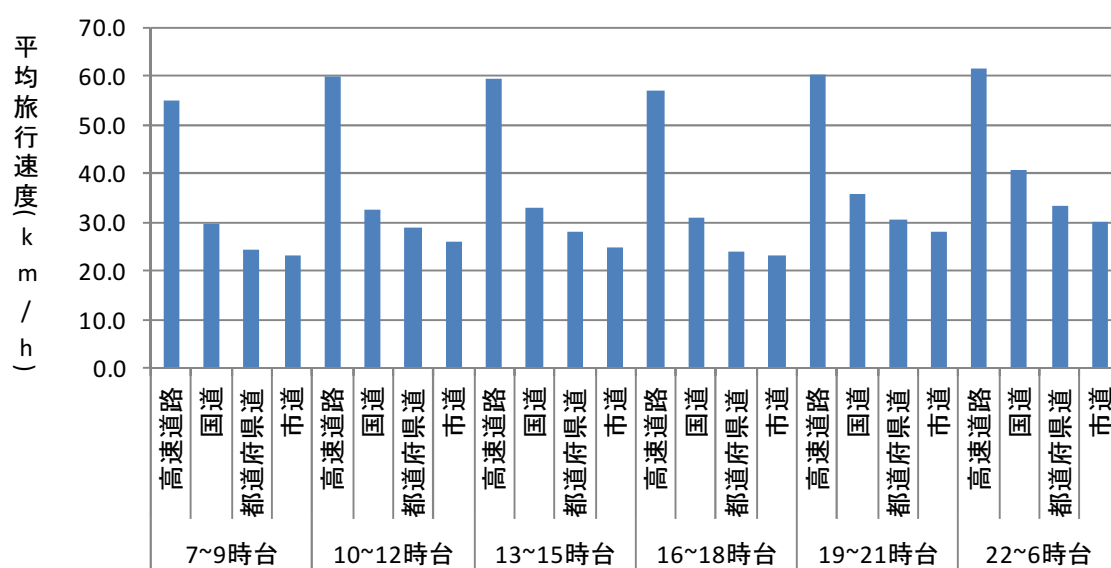


図 3・8 時間帯別道路種別平均旅行速度

3-4 物流事業者の経路選択行動の状況分析

「①豊田市－田原市」と「②豊田市－飛島村」、「③可児郡御嵩町－豊田市」、「④刈谷市～西尾市」において経路の使い分けが行われている。

ここで、「①豊田市－田原市」、「②豊田市－飛島村」の輸送においてともに6経路が存在しており、経路選択行動実態について分析を行う。

①豊田市－田原市

プローブデータを分析すると、豊田市から田原市への輸送においては、概ね6つの経路の中から選択していることが分かった。東名高速道路を利用している経路は1つのみで他の5つの経路は一般道路のみを利用している経路であった。4経路が、東名高速道路に並行する国道248号や県道26号、国道1号を通り、豊川市まで到達する経路であり、豊橋市を抜けて田原市に向かう方法に差異がある。1つの経路だけ国道248号を南下し、蒲郡市から豊川市、豊橋市、田原市と沿岸部を走行する経路であった。

また、地図ソフトでルート検索を行った場合に選定されるのは、高速道路を利用するルートである。高速道路を利用しないルートの場合は、国道248号を南下し、国道1号から国道259号に向かって南下する経路であるが、プローブデータの分析結果の中には現れなかった。なお、高速道路を利用する経路では、出発地点から最も近い豊田東ICからまず伊勢湾岸自動車道に進入し、豊田JCTで東名高速道路に進入し、音羽蒲郡ICで東名高速道路から下車している。これは地図ソフトでルート検索を行った場合に選定されたルート同一である。

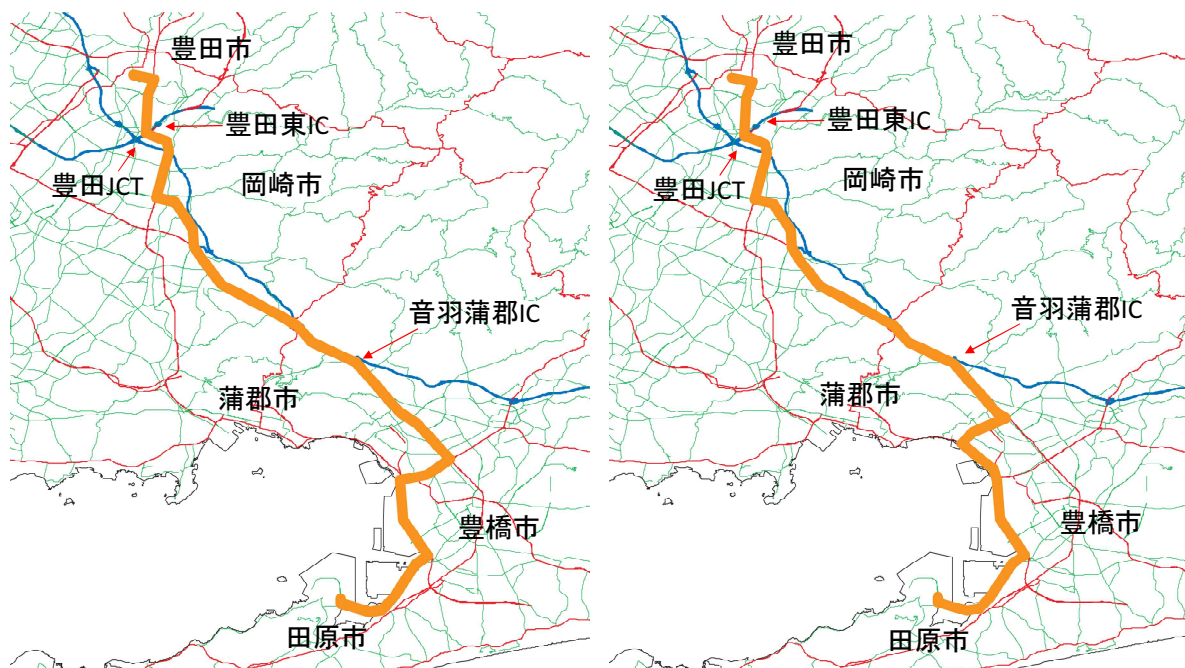


図 3-9 豊田市－田原市の経路（その1）

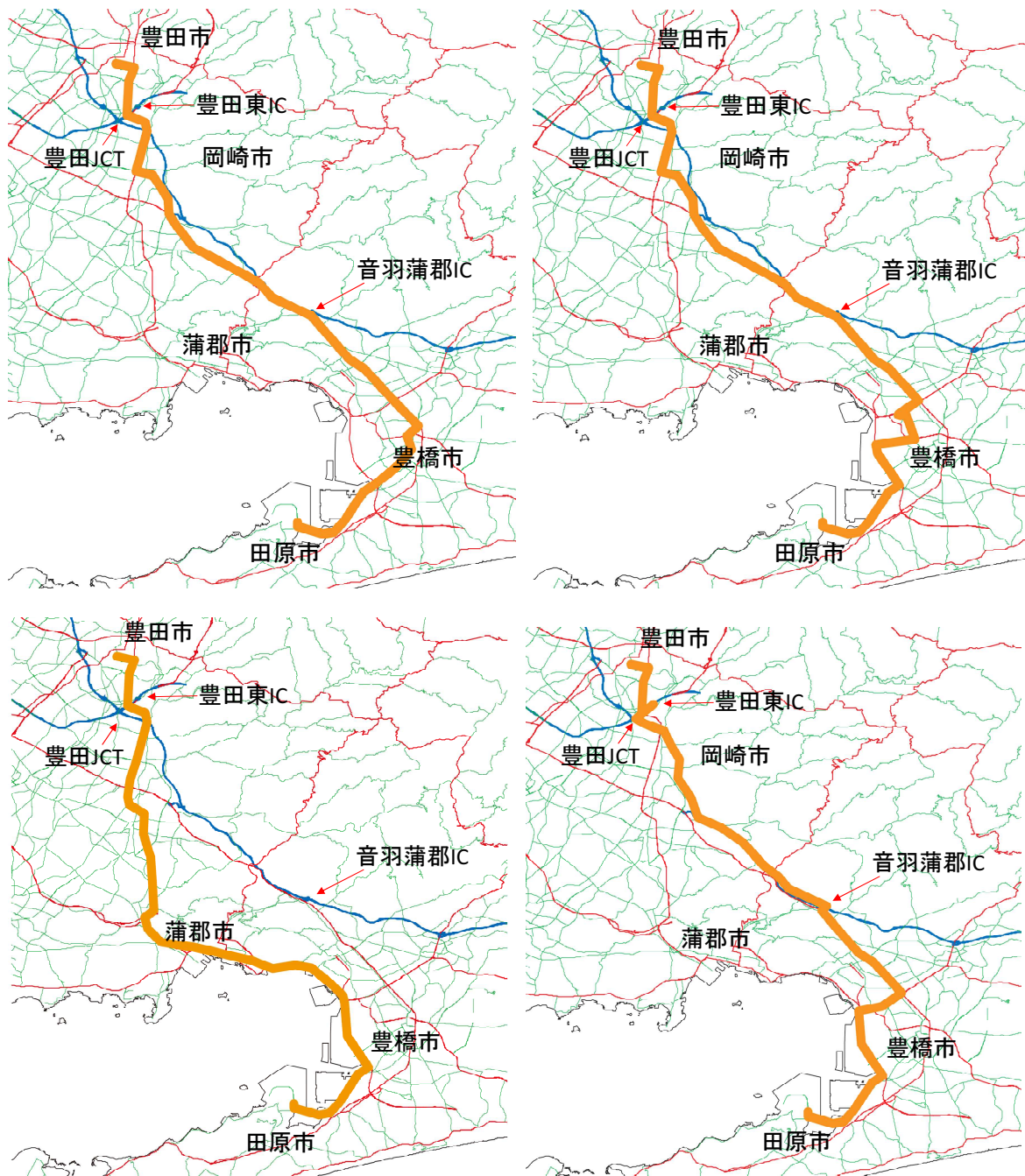


図 3-10 豊田市－田原市の経路（その2）

②豊田市－飛島村

プローブデータを分析すると、豊田市から飛島村への輸送においては、田原市への輸送と同様、概ね6つの経路の中から選択していることが分かった。田原市への輸送とは異なり、6つの経路のうち4経路が何らかの形で高速道路（伊勢湾岸自動車道）を利用する経路であった。豊田南 IC から利用する経路、豊明 IC から利用する経路、名古屋南 IC から利用する経路、名港中央 IC から利用する経路が存在した。一般道路のみを利用する2経路では、豊明 IC よりも西側の経路は同じであるが、豊明 IC よりも東側で、国道 155 号および国道 1 号を利用するか、県道を利用するかで異なっている。

また、地図ソフトでルート検索を行った場合に選定されるのは、豊田南 IC から伊勢湾岸自動車道を利用する経路であった。豊田南 IC に進入するまでの一般道の経路が若干異なるが、おおむねプローブデータ分析で得られた経路にも同様の経路が存在した。

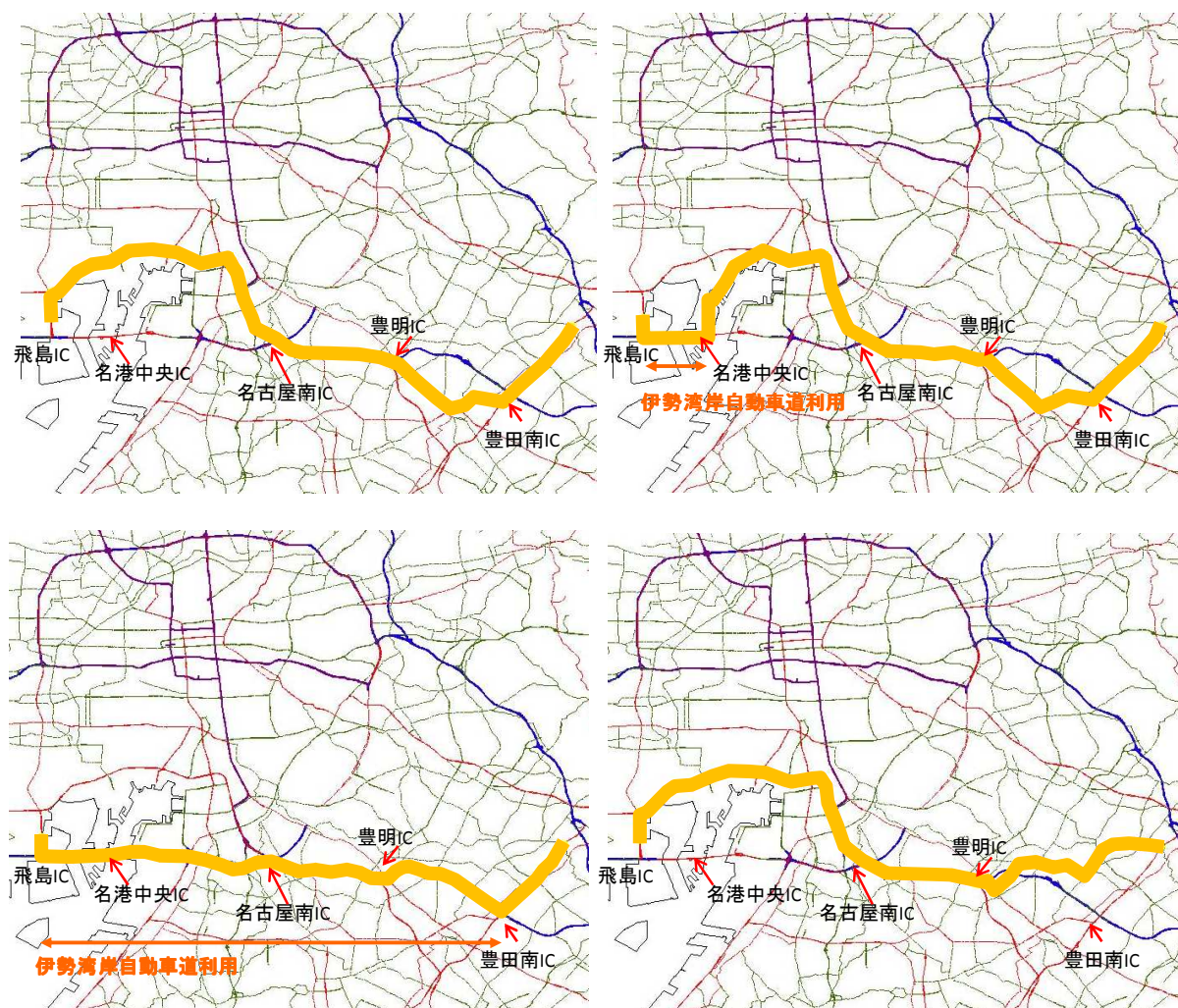


図 3-11 豊田市－飛島村の経路（その1）

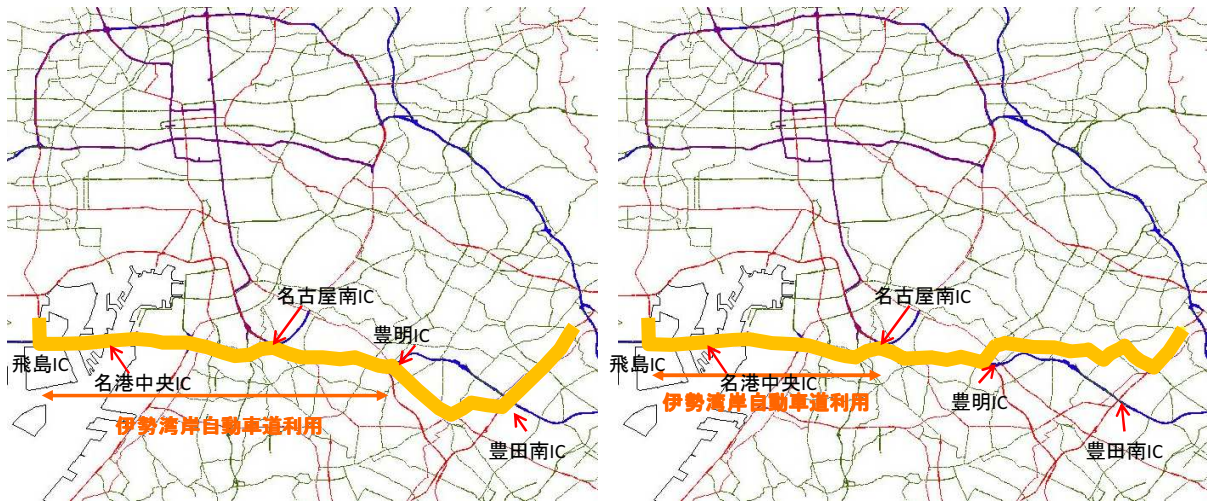
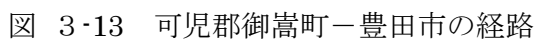


図 3-12 豊田市－飛島村の経路（その2）

可児郡御嵩町から豊田市への輸送では、3経路を使い分けており、いずれも高速道路または有料道路を利用する経路であった。1つ目は土岐ICから中央自動車道に乗り、東海環状をせと品野ICまで利用し、その後は一般道を利用する経路、2つ目は、同様に東海環状を利用し、豊田松平ICまで行き、その後は国道301号等を利用する経路、3つ目は中央自動車道を西に行き、小牧JCTで東名高速道路に乗り、豊田ICで降りる経路であった。

また、地図ソフトでルート検索を行った場合に選定されるのは、3つ目の中央自動車道を西に行き、小牧JCTで東名高速道路に乗り、豊田ICで降りる経路であった。



④刈谷市～西尾市

刈谷市から西尾市の輸送においては、2つの経路を使い分けていることが分かった。1つ目は県道48号、県道286号、県道292号を利用する経路であり、2つ目は国道23号（知立バイパス）を利用する経路であった。2つ目の国道23号を利用する経路の方が通常時は所要時間が短く、2つ目の経路の利用が通常であると考えられるが、場合によって1つ目の経路を利用する状況である。



図 3-14 刈谷市～西尾市の経路

以下では、複数の経路選択が行われている上記起終点のうち、6つの経路から経路選択が行われている、「①豊田市－田原市」と「②豊田市－飛島村」の輸送における経路選択行動実態についてプローブデータをもとに把握した。24時間を、①7～9時台、②10～12時台、③13～15時台、④16～18時台、⑤19～21時台、⑥22時～6時台、に分割し、それぞれの時間帯別に経路選択率を把握した。



図 3-15 分析対象の輸送

(1) 豊田市－田原市間の輸送

豊田市から田原市への輸送において、物流事業者は主に下図の6経路の走行が見られた。どの時間帯においても高速道路を利用せず、豊川市の北側から沿岸部を走行する経路2の選択率が最も高く、次いで経路1または経路4の選択率が高い。高速道路を利用する経路6の選択率は16～18時台で20%と高くなっている。

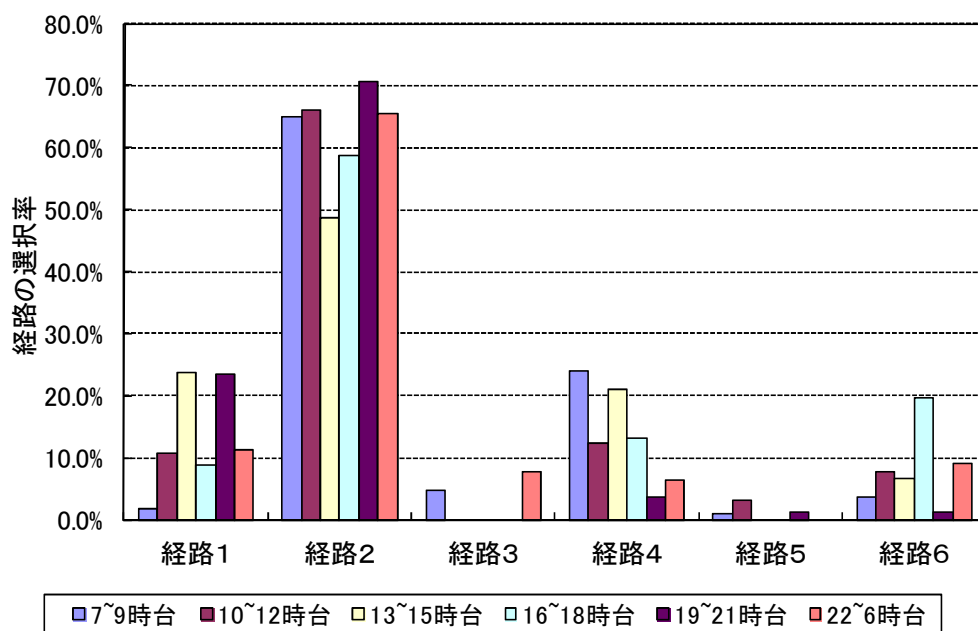


図 3-16 豊田－田原間輸送の経路別選択率

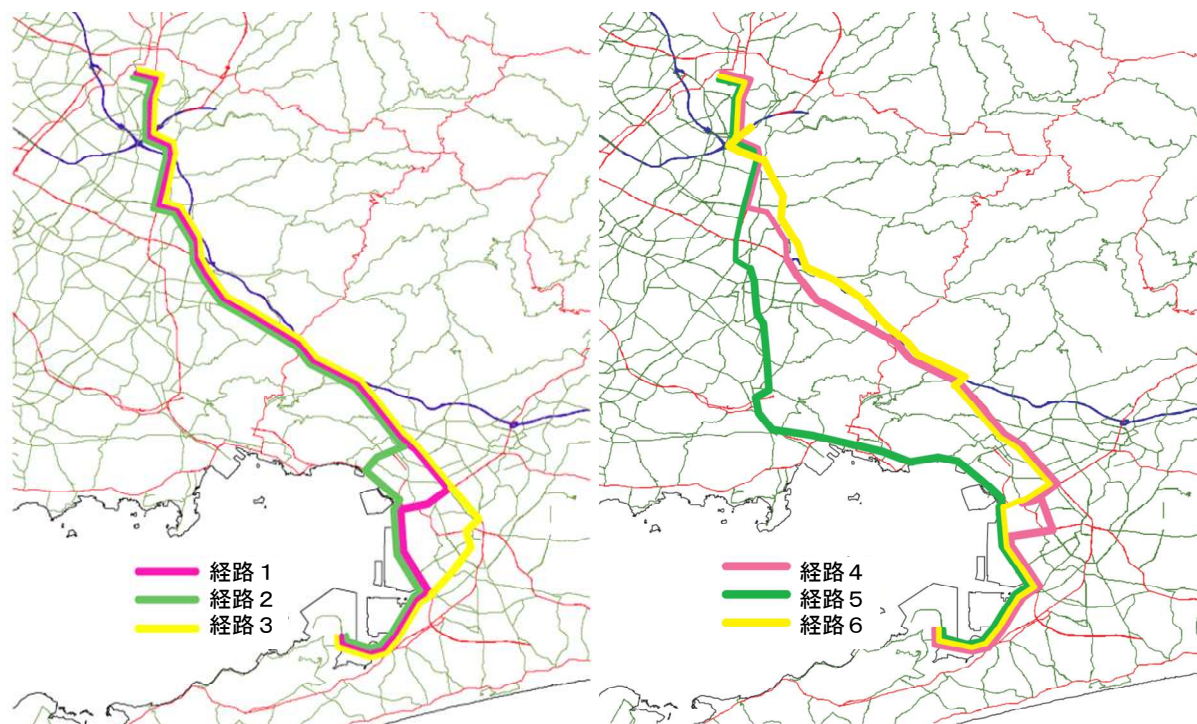


図 3-17 豊田－田原間輸送の主な経路

(2) 飛島

豊田市から飛島村への輸送においては、高速道路を最も長い距離利用する経路3がいずれの時間帯でも最も選択率が高い。次いで一般道路のみ利用の経路4，高速道路利用の経路5，6が高い。経路3の選択率が、前半の時間帯では50～55%であるが、16時以降の後半の時間帯では70%程度と大きく異なっている。

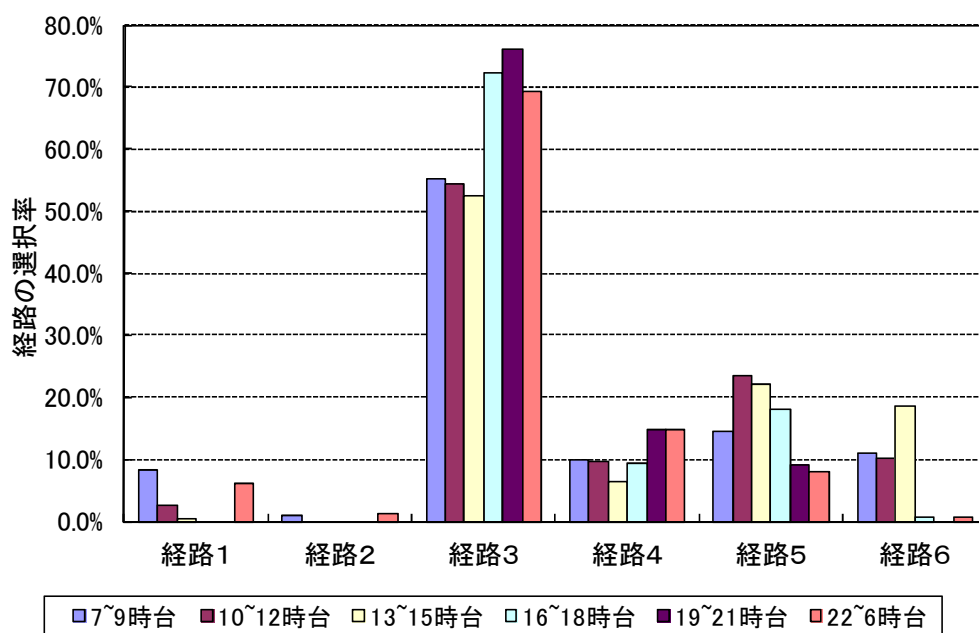


図 3-18 豊田—飛島間輸送の経路別選択率

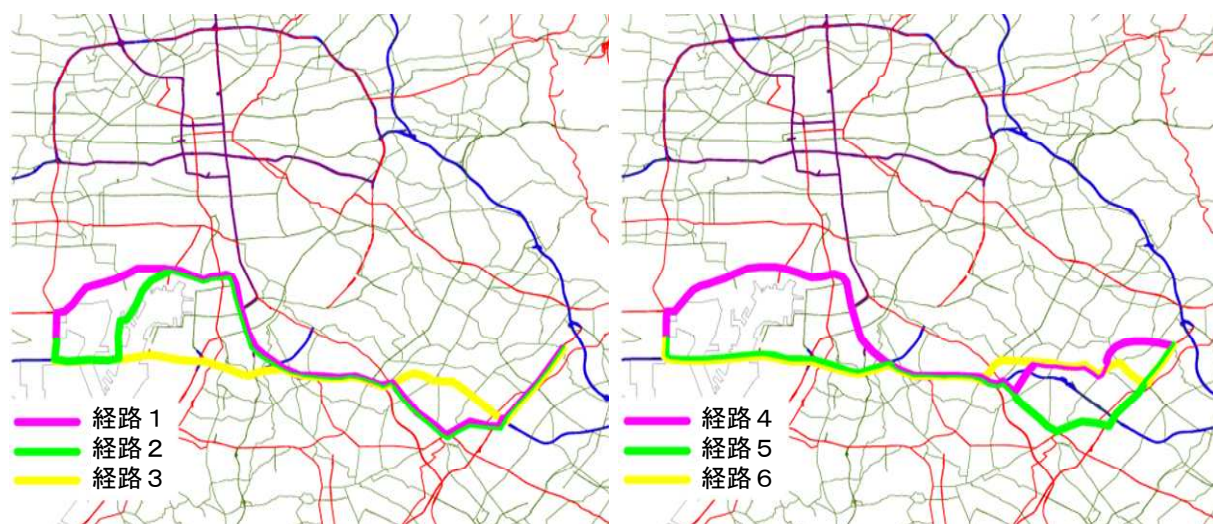


図 3-19 豊田—飛島間輸送の主な経路

3-5 余裕時間に関する分析

物流業者に対し、遅刻実態に関するヒアリングを行った場合、ほとんど遅刻はしないという回答が大多数であることから、物流業者は、大事故による遅れを除き、通常渋滞による遅れでは遅刻しないように輸送ダイヤを設定していると考えられる。実際には、100%遅刻しないことは不可能であることから、「物流業者はおのおの、約束時刻に対し、適当であると判断した遅刻確率を持つ出発時刻を選ぶ」と捉え、物流事業者がダイヤ中に設定していると考えられる余裕時間に関する分析・評価を行う。

ここでも前項と同様、「①豊田市ー田原市」と「②豊田市ー飛島村」の輸送における余裕時間設定実態についてプローブデータをもとに把握した。

(1) 豊田市ー田原市間の輸送

ア. ダイヤ出発・到着時刻と実際の出発・到着時刻の関係

実際の運行とダイヤでの出発時刻と到着時刻をグラフにプロットし、実際の走行とダイヤとの関係について分析した。水色の点が実際の運行における出発時刻と到着時刻を示し、茶色がダイヤを示している。ダイヤの点よりも左側に実際の走行の点があればダイヤでの出発時刻よりも早く出発していることを示し、ダイヤの点よりも下側に実際の走行の点があればダイヤでの到着時刻よりも早く到着していることを示す。

グラフを見ると、実際の走行のほとんどがダイヤの点よりも左側、下側にあることが分かり、ほとんどの輸送において、ダイヤの出発時刻より前に出発してダイヤの到着時刻よりも前に到着していることが分かる。特に午前4時前後の輸送、午後9時前後の輸送においては、出発時刻も所要時間もダイヤよりも短いために、ダイヤ上の到着時刻よりもかなり前に到着している。ほとんどの運行においてダイヤの出発時刻よりも早く出発しており、ダイヤの到着時刻よりも早く到着している。午後6時前後の輸送の一部で早く出発したが、ダイヤの到着時刻よりも遅く到着している運行があった。午後2時台の運行では一部に出発時刻がダイヤよりも遅くなっている運行があるが、ダイヤの到着時刻よりも前に到着している。

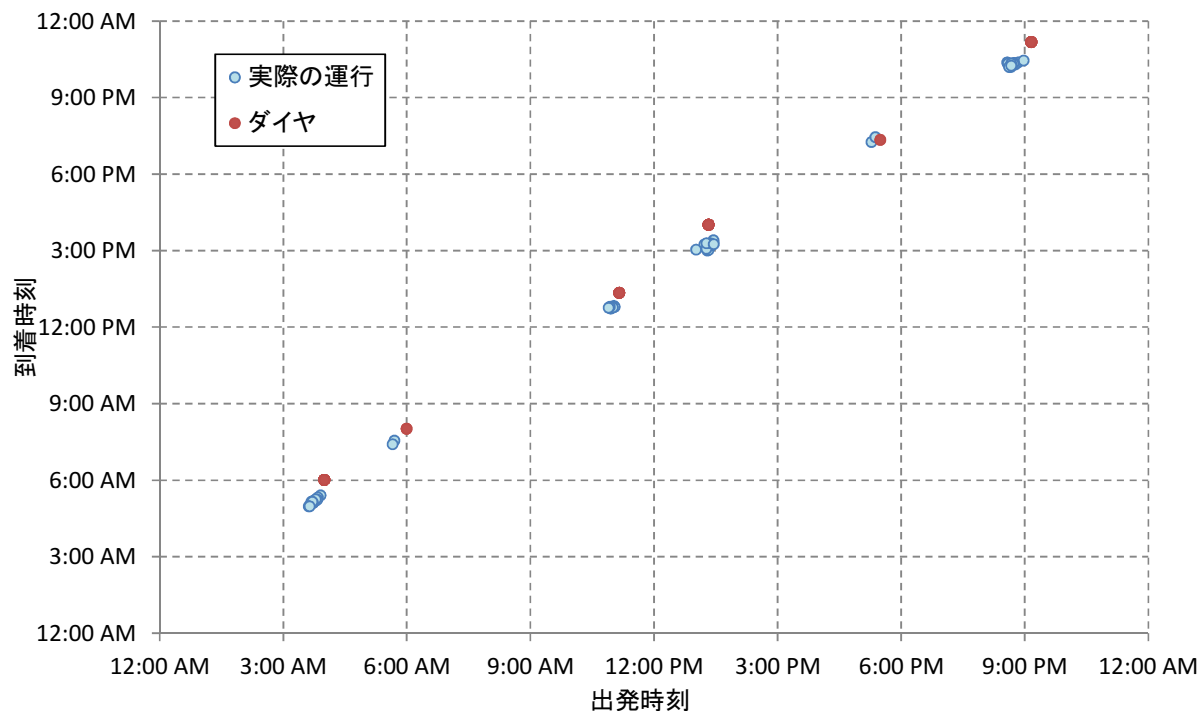


図 3・20 ダイアでの出発・到着時刻と実際の出発・到着時刻（豊田—田原）

イ．ダイア所要時間と実際の所要時間の関係

ダイアの所要時間と実際の運行の所要時間の違いを分析する。下図では、水色の点が実際の運行における所要時間を示し、茶色がダイアの所要時間を示している。午後 6 時台を除いた他の時間帯で、設定されたダイアでの所要時間よりも短時間の所要時間で到着している。最長の時間よりも 10 分以上速い所要時間で到着しており、午前 4 時、午後 2 時前後分の便では、全ての便で 30 分以上速い所要時間で到着している。午前 4 時以外の運行では所要時間に大きな差は無いが、ダイアで想定している所要時間には大きな差がある。午前 6 時前後、午前 11 時前後、午後 2 時前後の運行において、所要時間はほとんど変わらないが、午前 6 時のダイアで想定している所要時間は 120 分、午後 2 時前後では 160 分と、40 分の差がある。

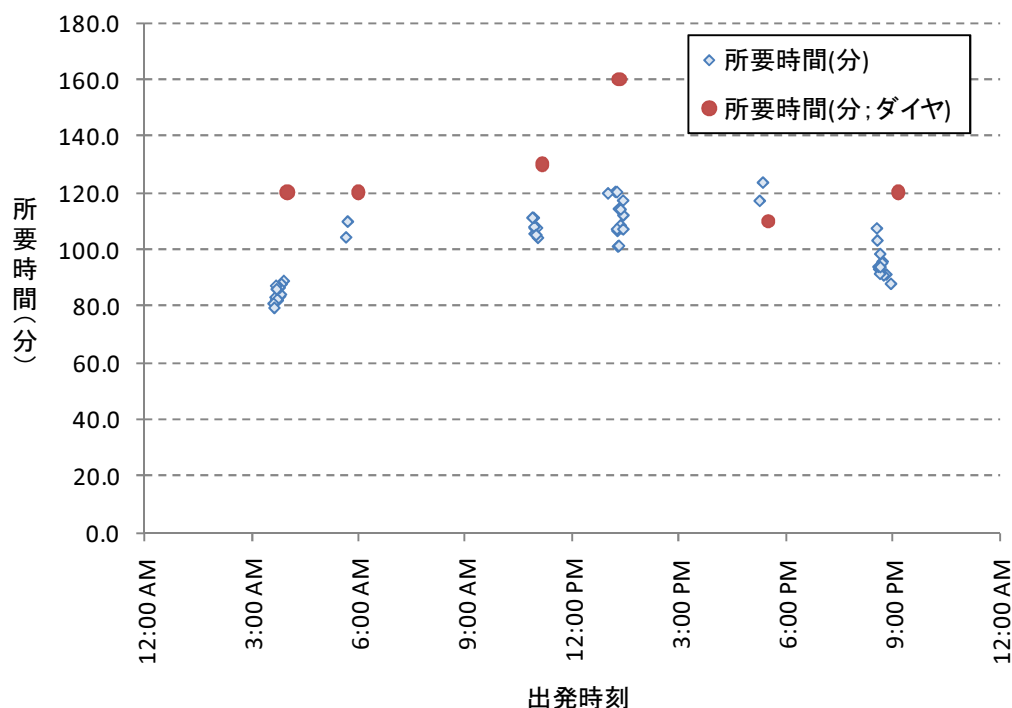


図 3-21 ダイヤでの所要時間と実際の所要時間との差①（豊田—田原）

ダイヤの所要時間と最短所要時間、平均所要時間、最長所要時間との差を見ると、午後 2 時前後の運行が最も差が大きく、次いで午前 4 時の運行での差が大きい。午後 9 時前後の運行では、最短所要時間と最長所要時間との差が大きく、ダイヤの所要時間との差では、最短所要時間が 32 分、最長所要時間が 13 分と他の時間の運行に比べて違いが大きくなっている。

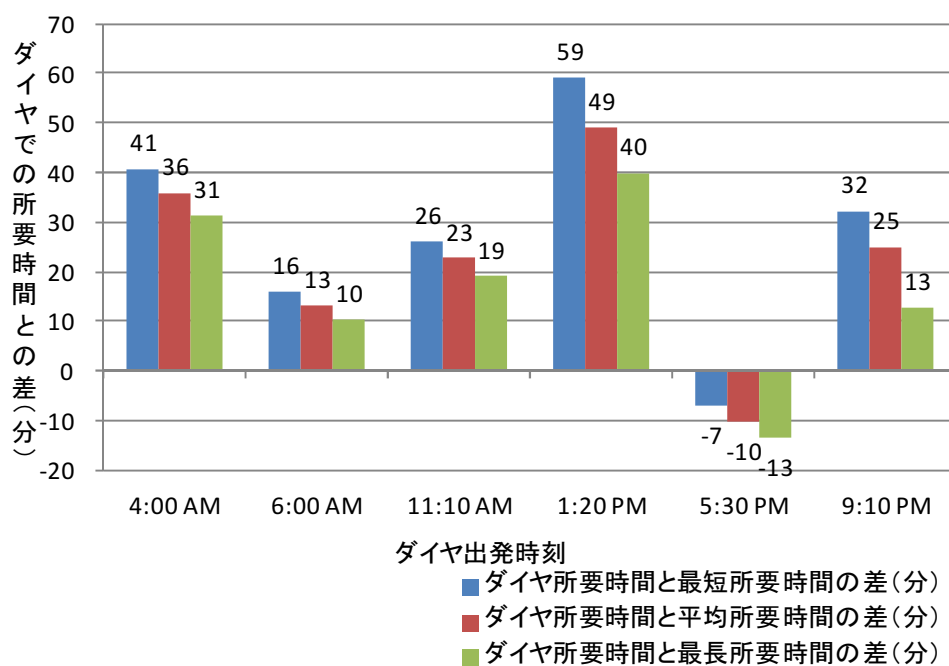


図 3-22 ダイヤでの所要時間と実際の所要時間との差②（豊田—田原）

ウ. ダイヤ到着時刻と実際の到着時刻との関係

ダイヤの到着時刻との差を見ると、ほとんどの便がダイヤの到着予定時刻よりも 30 分以上前に到着しており、午前 4 時の便では 1 時間以上も前に到着している便もある。午後 5 時前後の運行ではダイヤの到着時刻とほとんど差がなく、1 つの運行では 6 分程度遅れた結果となっている。

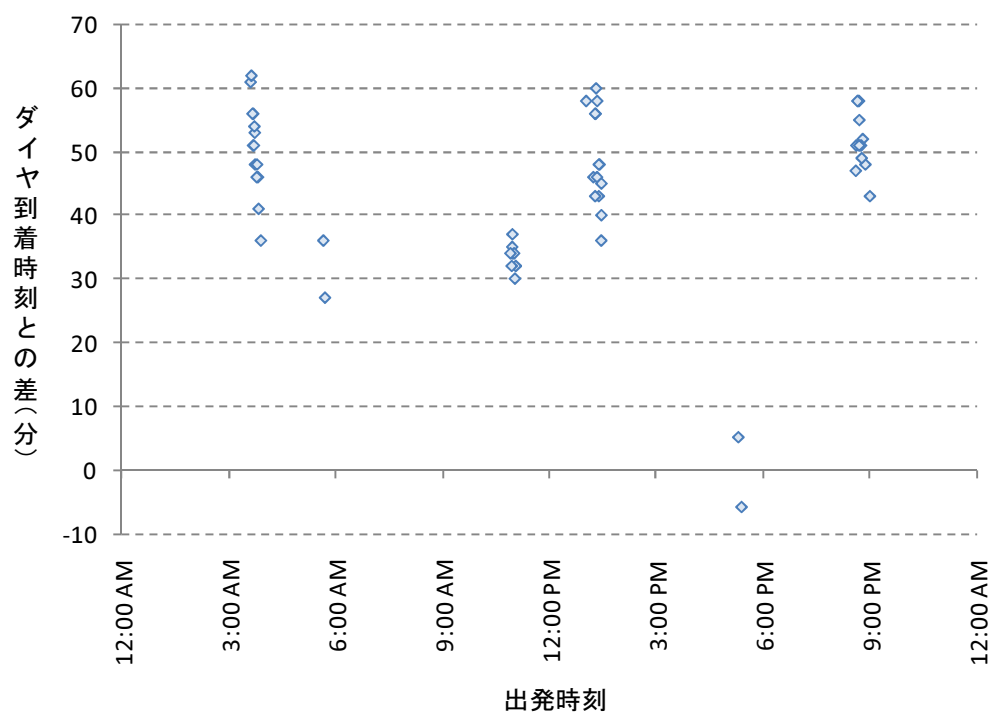


図 3-23 ダイヤでの到着時刻と実際の到着時刻との差①（豊田—田原）

ダイヤの到着時刻と最も早い到着時刻、平均到着時刻、最も遅い到着時刻との差を見ると、午後 2 時前後の運行が最も差が大きく、次いで午前 4 時の運行での差が大きい。ただし差はわずかでほとんど同じである。午後 5 時前後の運行はサンプルが 2 サンプルであるが、1 つが 5 分早く到着し、1 つが 6 分遅く到着し、ダイヤの到着時刻とほとんど差がない状況であった。

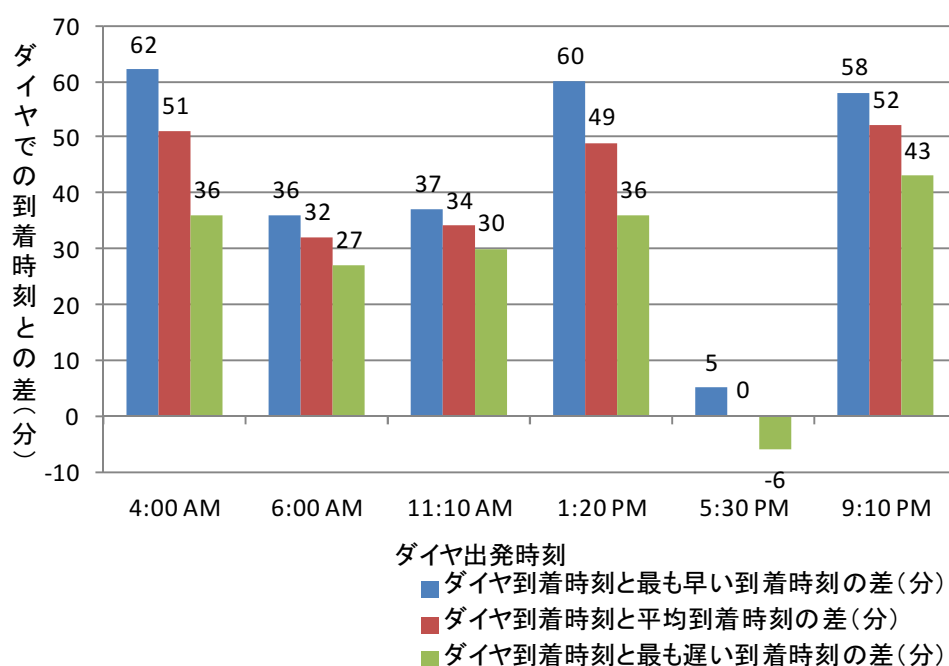


図 3-24 ダイヤでの到着時刻と実際の到着時刻との差②（豊田—田原）

エ. ダイヤ出発時刻と実際の出発時刻の関係

出発時刻は同ダイヤ時間帯でも最大で 25 分差があり、ばらついている状況が把握できる。これは、同貨物車で異なる発着地間の運行を担当していたり、同発着地間で何回も往復していたりするため、荷積みが終わったら出発するという様に運行しているためであると考えられる。他の運行の影響を受けるため、各車で同時刻出発ではなく、ばらついているものと考えられる。ダイヤの出発時刻の対比でいえば、午前 1 時 20 分の便を除いた運行では、ダイヤの出発時刻よりも速く出発している。午後 9 時台の運行では、遅い出発でもダイヤの 10 分前に出発し、早い出発ではダイヤの 35 分前に出発している。

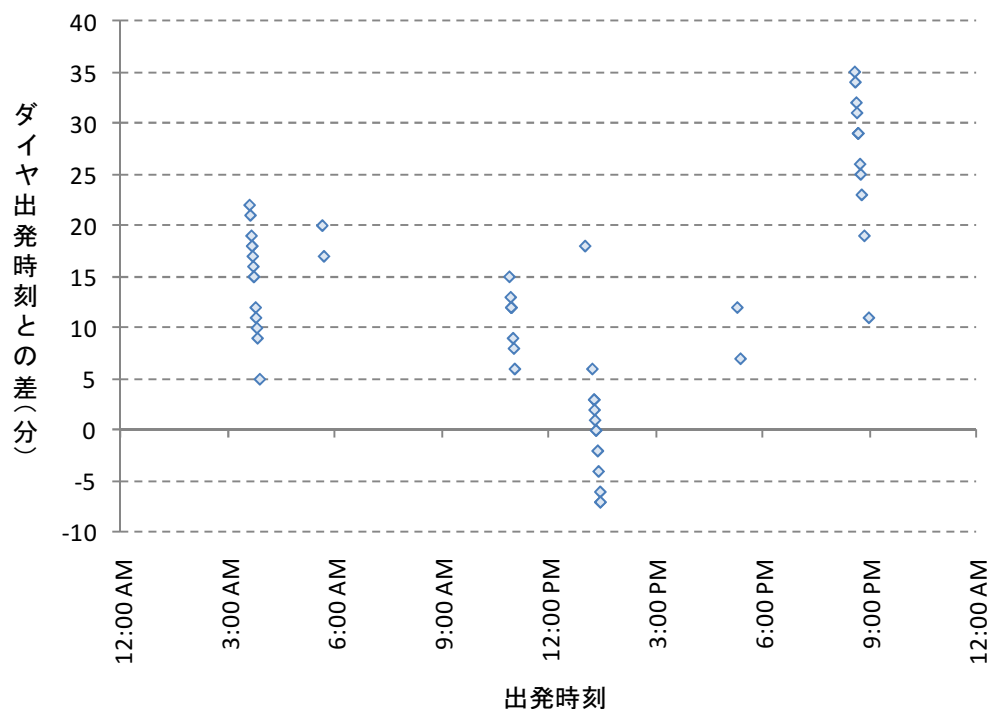


図 3-25 ダイヤでの出発時刻と実際の出発時刻との差（豊田—田原）

オ．運行形態の実態

運行形態の実態を出発時刻のダイヤとの比較、到着時刻のダイヤとの比較、所要時間のダイヤとの比較で分類すると下図の通りとなる。ダイヤの予定時刻よりも遅く着いた便はわずかである。多くが出発予定時刻よりも早く出発し、予定所要時間よりも速い所要時間で、予定到着時刻よりも早い時刻に到着しており、かなり予定に余裕を持って運行していることがわかった。

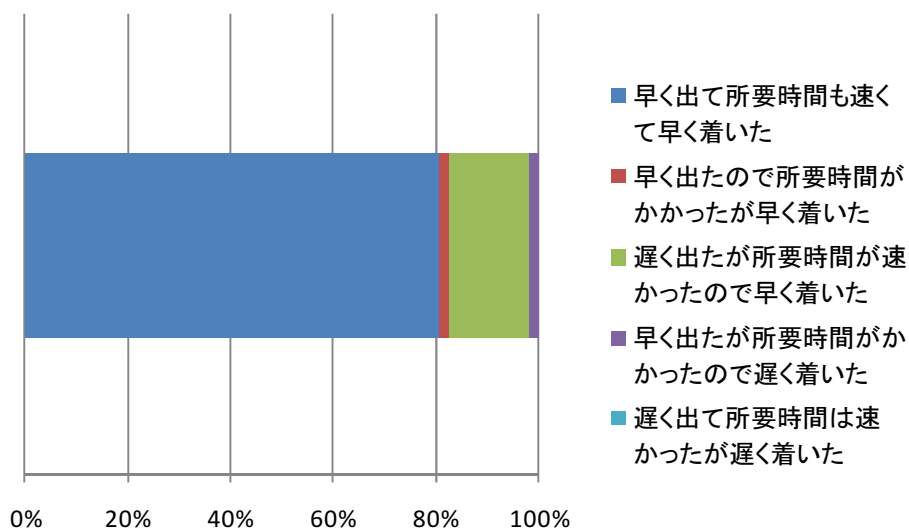


図 3-26 運行形態の実態（豊田—田原）

（２）豊田市－飛島村間の輸送

さらに、豊田市－飛島村間の輸送についても、出発時刻、到着時刻、所要時間のダイヤと実際の運行の差異について分析を行う。豊田市－田原市間の輸送は所要時間が 80～120 分であったが、豊田市－飛島村間の輸送は所要時間が 40～100 分であり、やや所要時間の短い運行である。

ア．ダイヤ出発・到着時刻と実際の出発・到着時刻の関係

実際の運行とダイヤでの出発時刻と到着時刻をグラフにプロットし、実際の走行とダイヤとの関係について分析した。水色の点が実際の運行における出発時刻と到着時刻を示し、茶色がダイヤを示している。ダイヤの点よりも左側に実際の走行の点があればダイヤでの出発時刻よりも早く出発していることを示し、ダイヤの点よりも下側に実際の走行の点があればダイヤでの到着時刻よりも早く到着していることを示す。

グラフを見ると、午後 6 時以前の運行はダイヤの点よりも左側、下側にあることが多く、ほとんどがダイヤの出発時刻より前に出発してダイヤの到着時刻よりも前に到着している状況が把握できた。午後 9 時以降の運行についてはダイヤが近接していることもあり、ダイヤの出発時刻とダイヤの到着時刻との関係がわかりづらく、必ずしもダイヤ通りに輸送が行われていない状況であった。

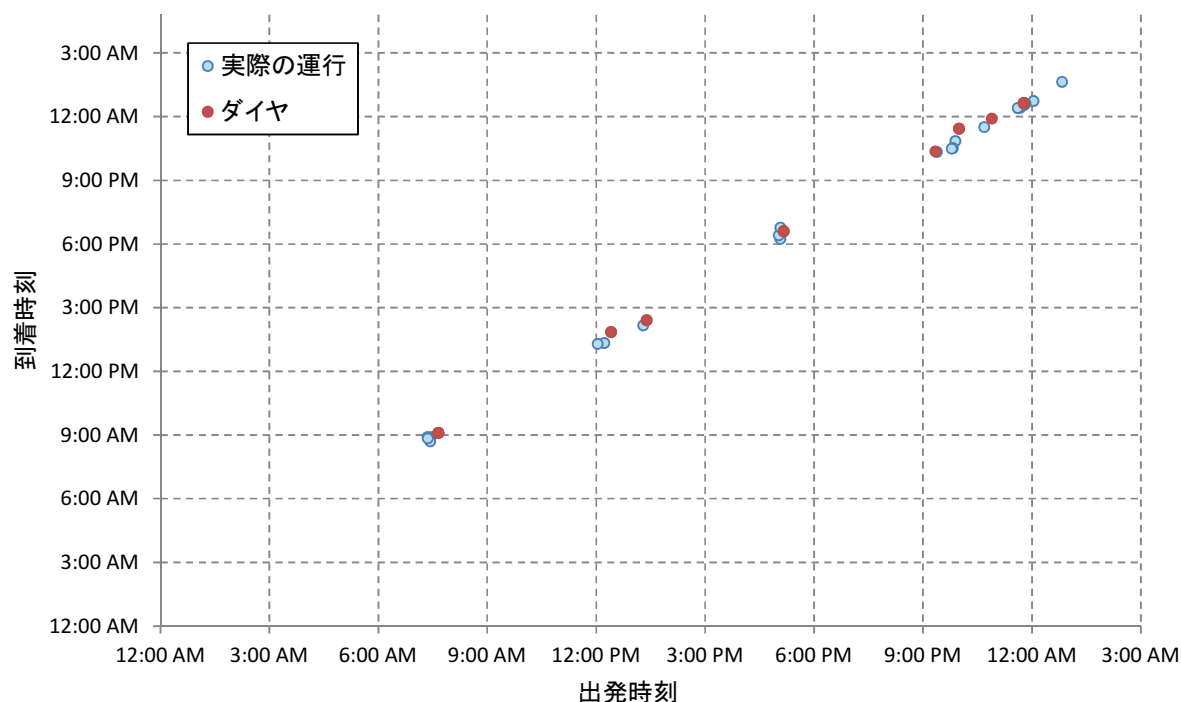


図 3-27 ダイヤでの出発・到着時刻と実際の出発・到着時刻（豊田－飛島）

イ. ダイヤ所要時間と実際の所要時間の関係

ダイヤの所要時間と実際の運行の所要時間の違いを分析する。下図では、水色の点が実際の運行における所要時間を示し、茶色がダイヤの所要時間を示している。多くの便がダイヤの所要時間よりも短い所要時間で運行できている。ただし、豊田市－田原市間の輸送に比べてダイヤの所要時間との差が小さく、ダイヤの所要時間よりも所要時間が長い運行もあり、所要時間における余裕時間は小さい。また、豊田市－田原市間の輸送に比べると同一時刻での所要時間の差が小さい。これは、ほとんどが有料道路を利用する運行であることに起因すると考えられる。

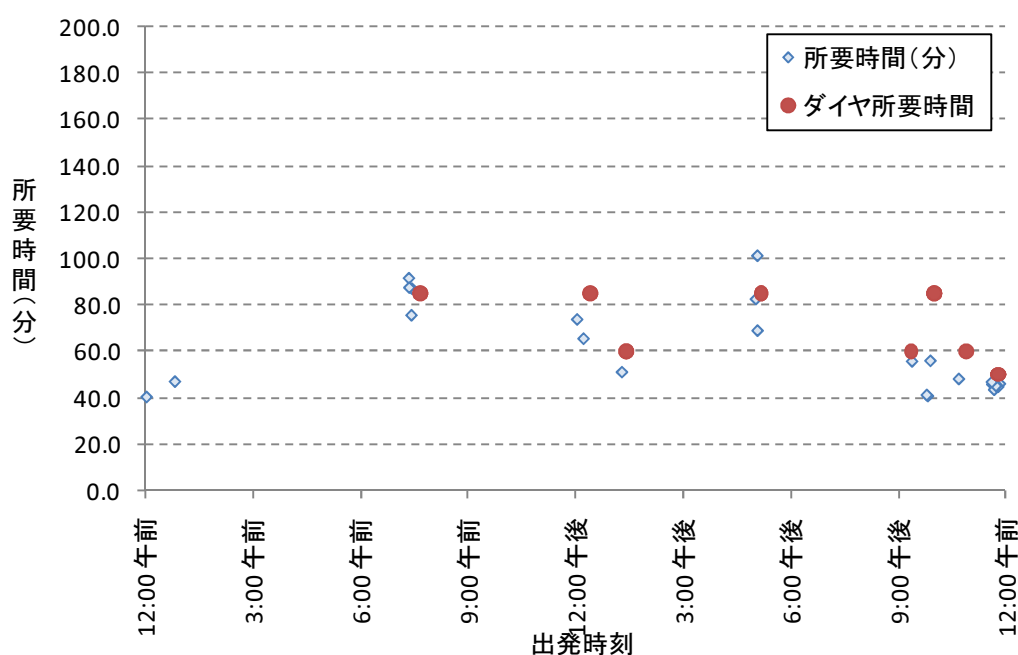


図 3-28 ダイヤでの所要時間と実際の所要時間との差①（豊田－飛島）

ダイヤの所要時間と最短所要時間、平均所要時間、最長所要時間との差を見ると、豊田－田原間の運行においては、ほぼすべての運行においてダイヤよりも早く到着し、その傾向は全ての時間帯に共通していたが、豊田－飛島間の運行においては、同一時間帯でもダイヤよりも短い所要時間の場合もあれば、長い所要時間の場合もあった。これは、毎日の所要時間が同一時間帯においてもばらついていることを示している。時間がばらついた時間帯は、午前 7 時 40 分発および、午後 5 時 10 分発の運行であり、ピーク時の運行において時間の変動が大きいことを示している。特に午後 5 時 10 分の運行においては、最短と最長の所要時間で 32 分もの差があった。他の時刻の運行においては、午前 7 時 40 分発で 16 分、午後 10 時発で 15 分の差があったが、その他の時刻においてはそれほど大きな差は見られなかった。

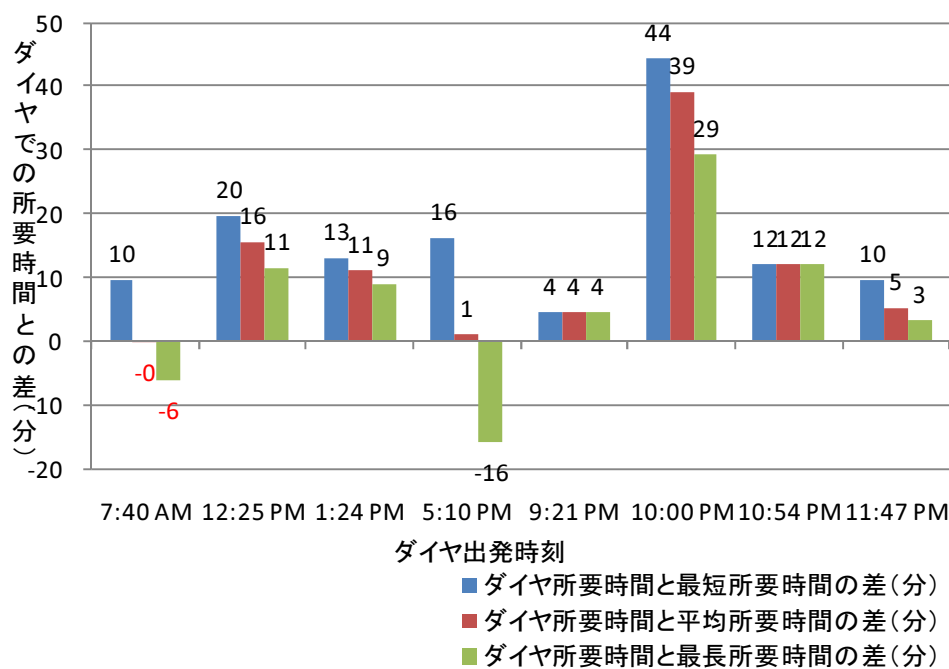


図 3-29 ダイヤでの所要時間と実際の所要時間との差②（豊田—飛島）

ウ．ダイヤ到着時刻と実際の到着時刻との関係

ダイヤの到着時刻との差を見ると、ほとんどの便がダイヤの到着予定時刻よりも前に到着している。豊田市—飛島市間の運行に比べるとダイヤよりも早く到着した時間差は小さい。豊田市—田原市間では 30 分以上前に到着している運行が多いが、豊田市—飛島市間ではそこまで前に到着している運行は少ない。

さらに、ダイヤの到着時刻と最も早い到着時刻、平均到着時刻、最も遅い到着時刻との差を見ると、午後 1 時 24 分発の便では、106 分も前に到着している運行があり、最も早い到着と最も遅い到着との到着時刻の差は 92 分あった。さらに午後 5 時 10 分発、午後 10 時発の運行で最も早い到着と最も遅い到着との到着時刻の差がそれぞれ 31 分、20 分であった。所要時間の差があった午前 7 時 40 分の便では到着時刻差はそれほど小さくなく、これは後述するが、出発時刻に差がないためである。全体としては、後述するように、出発時刻はばらつきが少ないが、所要時間がばらついているため、到着時刻のばらつきが見られる。ただし、午後 1 時 24 分の 106 分の差はダイヤよりもかなり早く出発していることに起因している。

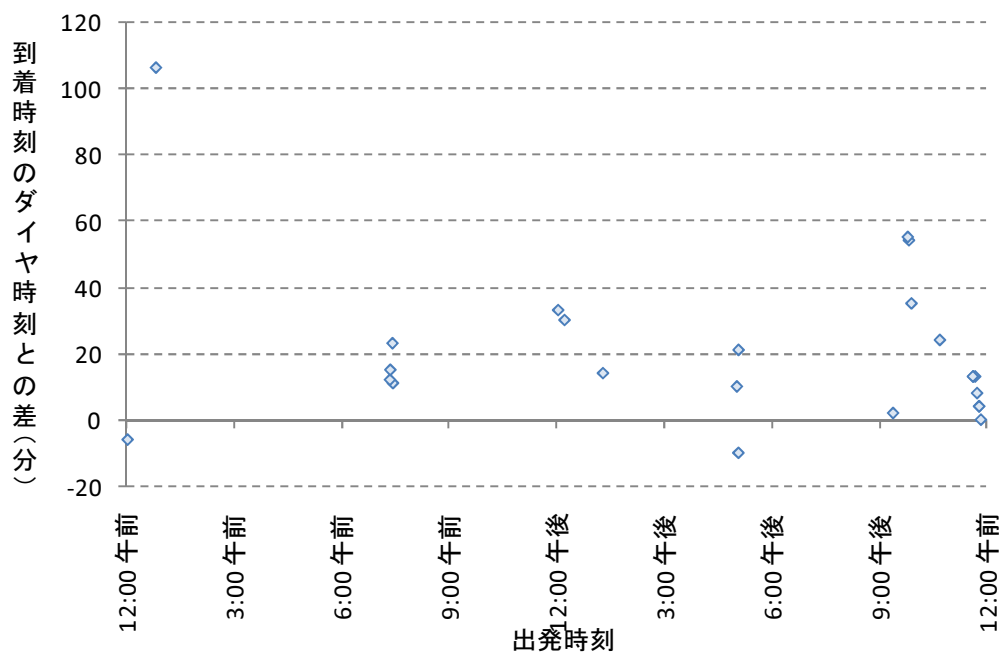


図 3-30 ダイヤでの到着時刻と実際の到着時刻との差① (豊田—飛島)

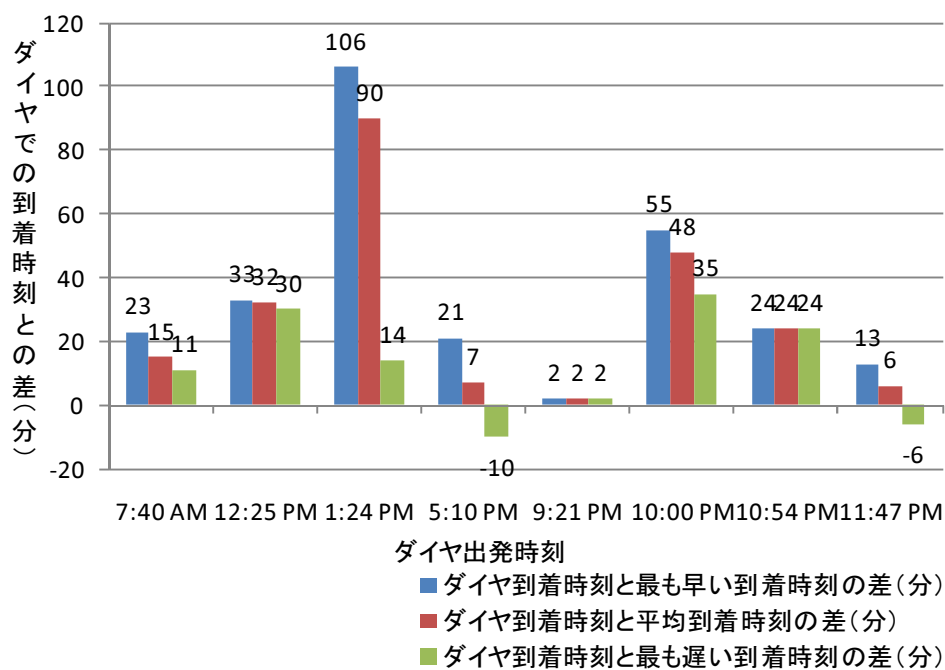


図 3-31 ダイヤでの到着時刻と実際の到着時刻との差② (豊田—飛島)

エ. ダイヤ出発時刻と実際の出発時刻の関係

ほとんどがダイヤ出発時刻よりも前に出発しているが、ダイヤ出発時刻と実際の出発時刻との差はほとんどが 20 分未満であり、豊田市－田原市間の運行に比べると差が小さい。また、同時間帯の中での各運行の出発時刻の差もかなり小さく、ほとんど同時刻に出発している状況が把握できる。このことから、豊田市－飛島市間の運行は、他の発着地間の運行や、同発着地間の他の時間帯の運行に影響されない運行であると考えられる。

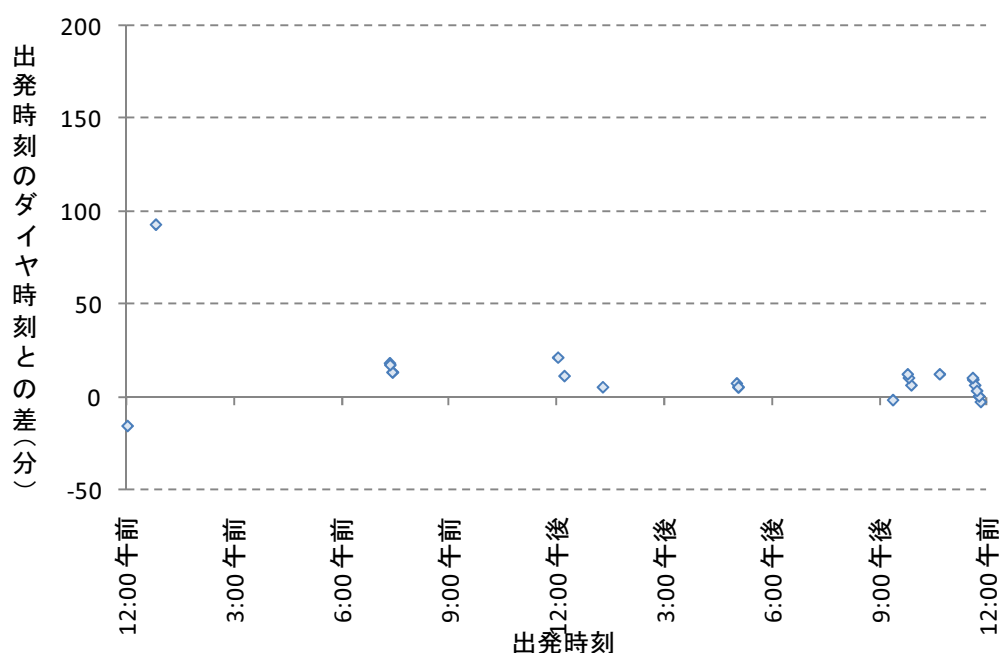


図 3-32 出発時刻のダイヤ出発時刻との差（豊田－飛島）

エ. 運行形態の実態

ダイヤの予定時刻よりも遅く着いた便は約 10%あり、豊田市－田原市間の運行よりも多い。豊田市－飛島市間の運行でも多くが出発予定時刻よりも早く出発し、予定所要時間よりも速い所要時間で、予定到着時刻よりも早い時刻に到着しており、かなり予定に余裕を持って運行している。ただし、豊田市－田原市間の運行に比べると、「早く出たので所要時間がかかったが早く着いた」の割合が高い。これは、ほとんどの運行が有料道路を利用する経路であり、所要時間の見通しがつきやすいため、所要時間に対する余裕時間が小さく設定されているためであると考えられる。所要時間自体の同一時間帯の所要時間差は小さく、比較的安定した所要時間の運行である。

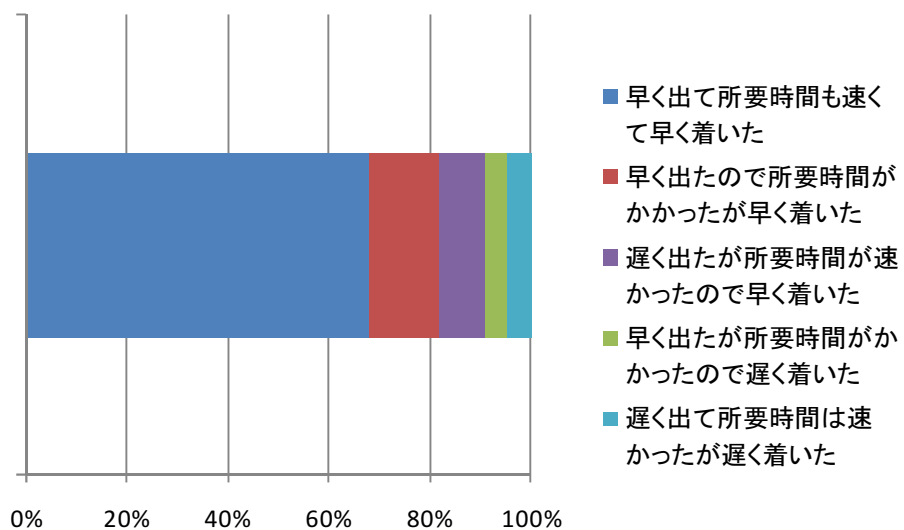


図 3-33 運行形態の実態（豊田—飛島）

3－6 参考文献

- 1.国土交通省道路局：平成 17 年度道路交通センサス一般交通量調査
- 2.（株）三菱総合研究所：三菱総研倶楽部、三菱総研グループニュース、2007 年 9 月

4. モデルの構築

4-1 モデルの概要

物流事業者では平均的な所要時間に加えて余裕時間を含めて移動時間を考慮していることを3章において示した。また、リスク回避のために1つの経路だけでなく複数の経路を選定し、運行している現状がある。そこで、本研究では、その様な状況を表現可能なモデルの構築を試みる。具体的には、時間の変動を考慮し、リスク回避のために複数の経路の選択率を決定するモデルを構築する。また、物流事業者においては、過去の経験から経路選定を行っている実情もあり、それらを表現でき、経路選択率を推計出来るものとして、進化ゲーム理論から派生した、試行錯誤型学習ダイナミクスに着目した。

進化ゲーム理論は動学化されたゲーム理論であり、戦略の分布や組合せの変化を分析する。得られるゲームの結果は、プレイヤーの戦略の収束値を求めるものであり、1つの戦略に収束する場合、ある戦略の選択率に収束する場合等が考えられる。

進化ゲーム理論には、遺伝ダイナミクスと学習ダイナミクスがあるが、学習ダイナミクスは、プレイヤーが戦略を何らかの方法で修正することによって生じるダイナミクスで、比較的短いタイムスケールの社会現象をモデル化するのに向いていることから、学習ダイナミクスを選択した。さらに、学習ダイナミクスは、試行錯誤ダイナミクス、模倣ダイナミクス、最適反応ダイナミクスに分類される。模倣ダイナミクスはプレイヤーが他者の戦略をまねることによって生じるダイナミクス、試行錯誤ダイナミクスは過去の自分の行動から戦略を決定することによって生じるダイナミクス、最適反応ダイナミクスはプレイヤーが他者の採用する戦略を経験的に推定して、それに対して自分の利得が最も高くなるように戦略を修正していくときに生じるダイナミクスである。物流事業者は他者の行動というよりも過去の自分の行動から戦略を決定すると考えられることから、本研究では、試行錯誤型学習ダイナミクスを適用する。試行錯誤学習を適用する際には、プレイヤーには、複数の選択肢を持っていることと、行動の結果を評価する基準を持っていることだけが必要となる。プレイヤーはある行動を行った際の見通しも、他のプレイヤーの戦略も知っている必要がない。さらに、プレイヤーは、他のプレイヤーの行動の結果や利得も知っている必要もない。試行錯誤型学習は以上の様な情報がなくても適用できる汎用性の高いアルゴリズムである。

試行錯誤型学習ダイナミクスでは、プレイヤーはある戦略を採ろうとする「傾向」を持つものと考え、プレイヤーがある戦略を実際に採ってみて、結果が良かったときには、その戦略に対する評価が上がり、その戦略を採ろうとする「傾向」が大きくなる。結果が悪かったときには、評価が下がり、その戦略を採ろうとする「傾向」が小さくなる。この効果は学習心理学の用語で「強化」と呼ばれる。一般に高い利得は大きな強化をもたらし、

低い利得や負の利得は小さな強化やマイナスの強化をもたらす。

一般に、いつどこで交通障害が起こるかは分からない。言い換えれば、先読みに必要な情報は得られない。そのため、ゲーム理論における先読みは強すぎる仮定であると考えられる。試行錯誤型学習ダイナミクスは、ゲーム理論における先読みの仮定なしに、ある戦略がうまくいったかどうかで戦略の選択率が増加したり減少したりすると仮定する。

本研究では、試行錯誤型学習ダイナミクスの代表であるRoth & Erev (1995)のモデルを適用した。モデルにおいて、プレイヤーは行動に対する傾向性を持ち、時刻 t の傾向性に時刻 t の行動の結果によって与えられる強化値を加えて時刻 $t+1$ の傾向性を更新するものと仮定している。ゲームの結果、プレイヤーの戦略はある戦略の選択率に収束する。

また、ゲーム理論を用いて障害の影響を考慮しながら配車系の経路選択を規定するモデルとしては、Bell (2004) が、交通事故等の突発事象に対するリスクを回避するモデルを、配車係とリンクに障害を起こすデーモンとのゲームとしてモデル化している。本研究はBell (2004) の研究での考え方を元に、配車係とリンクに障害を起こすデーモンとのゲームを想定した。さらに、配車係が所要時間の変動による影響と過去の経験を考慮するモデルに発展させた。配車係が毎日の経路所要時間の変動や障害の状況を考慮し、利用経路（戦略）を決定するモデルを構築した。配送担当者は日々変化する所要時間とリンクへの障害を避けるように経路を選択し、デーモンが貨物車の走行を邪魔するようにリンクに障害を起こすというモデルである。

配車係とリンクに障害（事故等）を起こすデーモンのゲームを想定した試行錯誤型学習ダイナミクスを用いて、経路選択戦略推計モデルを構築した。試行錯誤型学習ダイナミクスは、実際にある戦略を取った後に、それがうまくいったかどうかによって戦略が変化すると仮定したモデルであり、最良の経路を探し、リスク回避を考える配車系の経路決定の過程に似ていると考えられる。

本モデルは、過去の経験をもとにする、余裕時間を考慮する、という、実際に配車係が行う経路決定過程をモデル化しており、モデルを用いることで、道路整備にともなう平均所要時間の短縮、定時性・信頼性の向上による経路選択行動の変化について、実際の意志決定過程に即した分析を行うことが出来る。具体的には、経路選択行動に影響の大きな道路整備を把握し、重点化すべき道路整備の抽出に資すると考えられる。

本モデルを発展させることによって、道路計画における所要時間及び所要時間の信頼性が向上した場合に、貨物車の行動を記述することができ、複数の経路選択を行う実態のある貨物車の行動を把握することができる。

また、モデルに用いる経路所要時間データは、国土交通省中部地方整備局において物流事業者4社、合計579台から取得した、平成20年10月の1ヶ月のプローブデータから得られる、道路区間ごとの所要時間分布から作成する。さらに、モデルの構築は、3章で6つの経路選択が行われていることが把握できた、豊田市から田原市および豊田市から飛島市への配送経路について実施し、所要時間の変動の経路選択への影響を分析する。

4-2 モデルの定式化

(1) プレーヤーの設定

プレーヤーとは、ゲーム理論における相互依存状況にかかわる関係者のことを示す呼び名である。ゲームのルールは、プレーヤーの集合を明確にすることから始まる。プレーヤーは消費者や生産者などの個人だけでなく、企業、政党、国家なども1人のプレーヤーとみなすことができる。プレーヤーの数が二人の場合を二人ゲームと呼び、三人以上いる場合は人数に応じて三人ゲームや四人ゲーム、 n 人ゲームと呼ばれる。本研究では、Bell (2004)の研究での考え方を元に、配送担当者と交通障害を起こすデーモンをプレーヤーにした二人ゲームを設定した。

プレーヤー 1 : 配車担当者 (物流事業者)

プレーヤー 2 : 障害 (交通事故等を想定) を起こすデーモン

(2) プレーヤーの戦略

プレーヤーがゲームをプレイするために立案するいくつかの行動の選択肢を戦略と言う。それぞれのプレーヤーが何らかの戦略を採ると、何らかの結果が生じる。それはプレーヤーにとって良い結果のこともあれば、悪い結果のこともある。この結果に対するプレーヤーの評価を数値で表現したものが利得である。本研究では、プレーヤー 1 の戦略は、 n 個の経路のうち最も利得の高い一つの経路を選ぶ戦略、プレーヤー 2 はある一つのリンクに障害を起こす戦略を採るものと想定した。

プレーヤー 1 の戦略 : n 個の経路のうち一つを選択する。

プレーヤー 2 の戦略 : m 個のリンクのうち一つに障害を起こす。

(3) モデルフロー

まず、プレーヤー 2、デーモンの戦略は m 個のリンクに対して毎回同じ確率でランダムに障害を起こすものとする。その場合、プレーヤー 2 の戦略の選択率は一定であり、プレーヤー 1 の戦略 (経路の選択) 選択率は下図の手順で計算される。

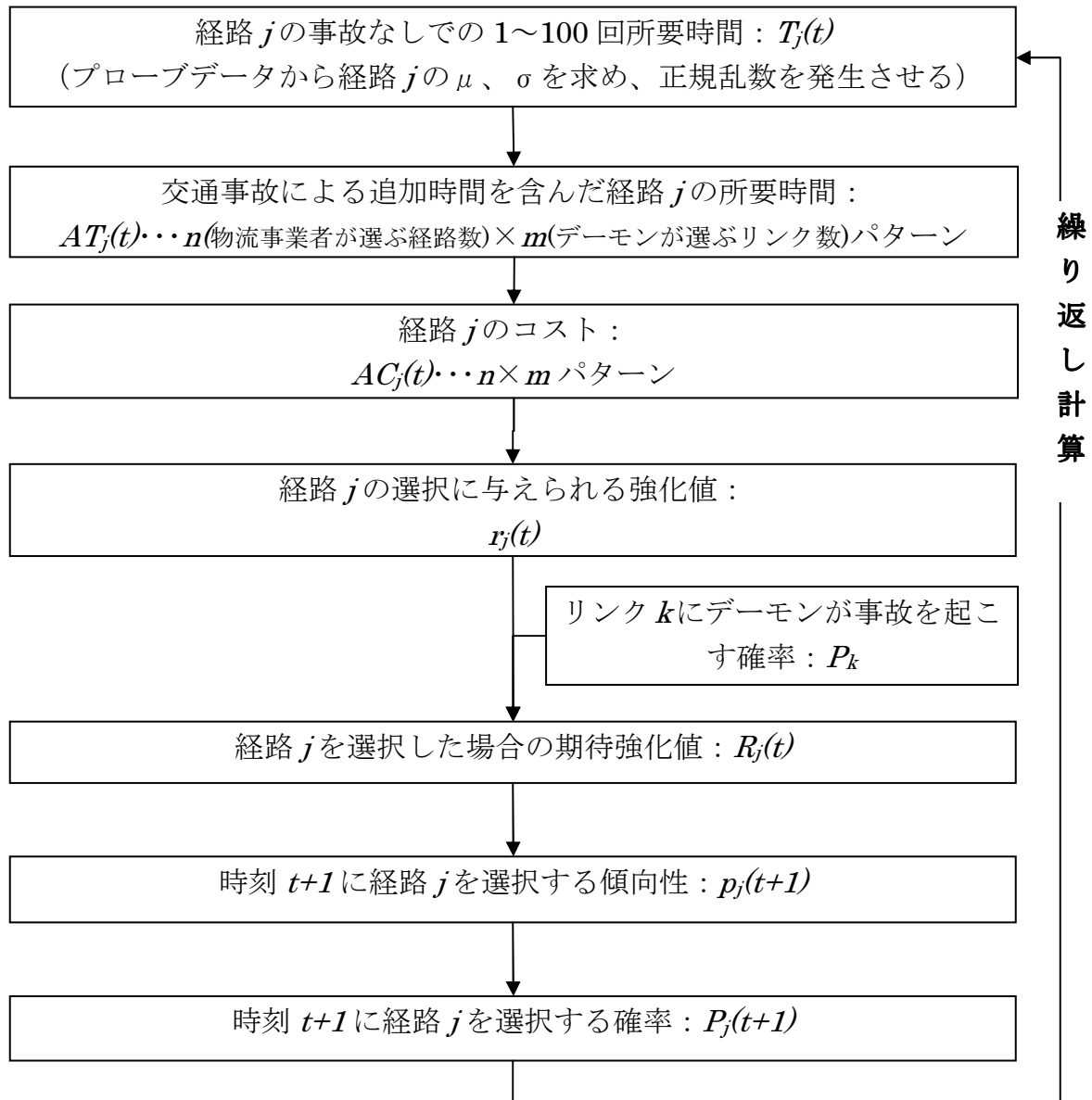


図 4-1 モデルフロー

以下においては、モデルフローに示した手順に沿ってモデルでの計算方法を説明する。

1) 経路毎の事故なしでの所要時間の設定

時刻 t の経路 j の所要時間は、経路の平均所要時間と所要時間の標準偏差によって求められる。所要時間は、正規分布に従うと仮定し、ボックスミュラー法を用いて確率的に計算する。

ボックスミュラー法は、区間(0,1)の独立な一様乱数 u_1 、 u_2 に対して次の変換式により標準正規分布 $N(0,1)$ に従う独立な乱数 η_1 、 η_2 を生成する方法である。

$$\eta_1 = \sqrt{-2\log(u_1)\cos(2\pi(u_2))} \quad (4.1)$$

$$\eta_2 = \sqrt{-2\log(u_1)\sin(2\pi(u_2))} \quad (4.2)$$

η_1, η_2 : 標準正規分布をする乱数

u_1, u_2 : 一様乱数

正規分布(平均 μ_j 、分散 σ_j)をする独立な乱数 T_j は区間(0,1)の独立な正規乱数 η_1, η_2 を用いて以下のように表すことができる。

$$T_j(t) = \sigma_j \sqrt{-2\log(\eta_1)\cos(2\pi(\eta_2))} + \mu_j \quad (4.3)$$

$T_j(t)$: 経路 j の時刻 t における所要時間

σ_j : 経路 j の所要時間の標準偏差

μ_j : 経路 j の平均所要時間

プローブデータから得られる、区間ごとの所要時間および標準偏差を用いて、経路毎に下式で所要時間および標準偏差を集計する。所要時間分布は求めた平均所要時間と標準偏差の正規分布に従うとして、経路の時刻 t の所要時間を推計する。

経路 j の平均所要時間と所要時間の標準偏差は以下の式で計算される。

$$\mu_j = \sum_i^n \mu_i \quad (4.4)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_i^n \sigma_i^2 + 2 \sum_i^{n-1} \sum_{l=i+1}^n COV(X_i, X_l)} \quad (4.5)$$

μ_l : 経路 l の平均所要時間

σ_l : 経路 l の標準偏差

μ_i : 区間 i の平均所要時間

σ_i : 区間 i の標準偏差

$COV(X_i, X_l)$: 区間 i 、区間 l の所要時間の共分散

注) 区間 i, l はデジタル道路地図のリンク毎である。

2) 交通障害の発生に伴う追加時間を含んだ経路毎の所要時間の算出

交通障害の発生に伴う追加時間を含んだ経路毎の所要時間は、デーモンの戦略毎に計算される。すなわち、 $n \times m$ パターンの所要時間が計算される。ここで、 n は配送担当者が選択する経路の数で、 m はデーモンが交通障害を起こす際に選択するリンクの数である。

$$AT_j^k(t) = T_j(t) + \sum_{k=1}^m (D_j^k \times ET_k) \quad (4.6)$$

$AT_j^k(t)$: デーモンがリンク k に事故を発生させる場合の交通障害の発生による追加所要時間を含んだ経路 j の時刻 t における所要時間
 D_j^k : ダミー変数 (リンク k が経路 j に含まれる場合 : 1、含まれない場合 : 0)
 ET_k : リンク k に事故が発生した場合のリンク k における追加所要時間

$$ET_k = \begin{cases} 30\text{min} & (\text{高速道}) \\ 10\text{min} & (\text{一般道}) \end{cases} \quad (4.7)$$

第3次渋滞対策プログラム実施箇所における最大渋滞長の平均値による遅れ時間をもとに設定した。

3) 経路毎のコストの算出

各経路のコストは、デーモンの戦略毎に計算される。すなわち、 $n \times m$ パターンのコストが計算される。

$$AC_j^k = TC_j^k(t) + RC_j^k(t) + \alpha \times T_j(t) + \beta \times D_j \quad (4.8)$$

$TC_j^k(t)$, $RC_j^k(t)$, $T_j(t)$, D_j : デーモンがリンク k に事故を発生させる場合の、時刻 t 、戦略 j での所要時間での時間コスト、走行コスト、有料道路料金、ダミー変数
 α, β : パラメータ (それぞれ、実際の経路選択率より設定する。)

$$TC_j^k(t) = AT_j^k(t) \times TCU_j \quad (4.9)$$

TCU_j : 時間価値原単位 (「国土交通省 : 費用便益分析マニュアル」より普通貨物車の値、64.18円/分を適用)

$$RC_j^k(t) = L_j \times RCU_j^k(t) \quad (4.10)$$

$RCU_j^k(t)$: 時刻 t の走行経費原単位 (円/km ; 「国土交通省 : 費用便益分析マニュアル」より普通貨物車の速度別の値を適用)
 L_j : 経路 j の延長

表 4－1 速度別走行経費原単位

| 速度(km/h) | 走行経費原単位 | 速度(km/h) | 走行経費原単位 |
|----------|---------|----------|---------|
| 5 | 77.94 | 35 | 43.34 |
| 10 | 63.97 | 40 | 41.81 |
| 15 | 57.23 | 45 | 40.63 |
| 20 | 52.54 | 50 | 39.79 |
| 25 | 48.86 | 55 | 39.30 |
| 30 | 45.84 | 60 | 39.18 |

4) 経路毎の強化値の算出

試行錯誤学習を仮定するモデルの代表として挙げられる、ロス・エレブのモデルを用いる。ロス・エレブモデルの基本方程式は式 4. 1 5 の様に、強化と忘却という過程を取り入れて、ある戦略を採ろうとする「傾向」の変化を次のようにモデル化したものである。

プレーヤーは、時刻 t に採用した戦略の良し悪しで、戦略 j を採用する傾向性に強化値を与えて時刻 $t+1$ の戦略 j を採用する傾向性を更新し、試行錯誤しながら戦略を収束させるモデルである。強化値は前回の行動の際の戦略の評価を表し、本モデルでは得られた利得とした。

各経路の強化値は、デーモンの戦略毎に計算される。すなわち、 $n \times m$ パターンの強化値が計算される。時刻 $t+1$ に戦略 j を選択する傾向性に与えられる強化値は、時刻 t の利得によって与えられると仮定し、強化値を以下のように設定した。

貨物車の運行を想定する場合、ある設定された到着予定時刻に向けて、遅着しないように出発、走行する。ここで乗用車等の旅客交通との大きな違いは、貨物車の場合は、早く到着することが重要ではなく、到着予定時刻に遅れないということである。そのため、本モデルでは、戦略の評価基準を、ダイヤで設定された標準的な所要時間による時間コスト、走行コストよりも小さいか否かであると設定した。すなわち、小さい場合には強化され、大きい場合には強化されないとして下式の強化値を設定した。以下の強化値設定の場合、最短経路でなくても遅れなければ強化されるため、最短経路以外も経路として選択される。これは、遅れなければ必ずしも最短・最小コスト経路を通行する必要はなく、最短経路や最小コスト経路以外の経路も利用している実際の経路選択状況にも定性的に合致している。

$$r_j^k(t) = 0; \quad (TC_b + RC_b) - AC_j^k < 0 \quad (4.11)$$

$$r_j^k(t) = 1; \quad (TC_b + RC_b) - AC_j^k \geq 0 \quad (4.12)$$

$r_j^k(t)$: デーモンがリンク k に事故を発生させる場合の時刻 t の戦略 j による強化値

TC_b, RC_b : ダイヤで走行した所要時間での時間コスト、走行コスト

5) 経路毎の期待強化値の算出

各経路の期待強化値はデーモンの戦略の確率を重みづけすることで計算される。

$$R_j(t) = \sum_{k=1}^m (r_j^k(t) \times p_k(t)) \quad (4.13)$$

$p_k(t)$: リンク k にデーモンが交通障害を起こす確率

交通障害の確率はある固定された確立で起こると想定した。この確率は統計から得られる道路種類別の交通事故発生率（件/km）より設定した。リンク毎の障害確率は、リンク毎に愛知県の6～9時の道路種類別交通事故発生率をもとに、下記式によって設定した。

$$p_k = TA_r \times L_k \quad (4.14)$$

IP_k : リンク k の障害確率

TA_r : 道路種類 r の交通事故発生率

L_k : リンク k の延長

6) 時刻 $t+1$ の傾向性の算出

時刻 $t+1$ の傾向性は、以下の式に強化値の期待値を代入することにより計算される。時刻 $t+1$ に経路 j を選択する傾向性の構成要素であるプレイヤー1の期待値は、時刻 t の利得によって与えられると想定した。また、強化値は以下のように決定される。

$$p_j(t+1) = (1 - \phi) p_j(t) + R_j(t) \quad (4.15)$$

$P_j(t)$: 時刻 t に戦略 j を採用する傾向性

$R_j(t)$: 時刻 t に $P_{ij}(t)$ に与えられる強化

ϕ : 忘却の速さを表すパラメータ ($0 < \phi < 1$)

式4.13で忘却がない場合を考えると、傾向は強化の分だけ増減する。また、強化がない場合を考えると、傾向は毎期の割合で減少していく、この時初期の減少は比較的速やかで、時間が経つにつれて減少の仕方は次第に緩やかになっていく。このような性質は、学習心理学での知見と定性的に一致しているといえる。

7) 経路選択確率の更新

経路 j を選択する確率は各経路の傾向性より計算される。

$$P_j(t+1) = p_j(t+1) / \sum_j p_j(t+1) \quad (4.16)$$

$P_j(t+1)$: 時刻 $t+1$ に戦略 j を採用する確率

$$\text{ここで、} \sum_j P_j(t+1) = 1 \quad (4.17)$$

8) 繰り返し計算

時刻 t における強化値、傾向性、経路選択確率は、計算結果によって更新され、収束するまで同じ操作を繰り返す。

4－3 モデルへの適用

豊田－田原（7～9時台、19～21時台）、豊田－飛島間（7～9時台、19～21時台）の輸送におけるデータを用いて、経路選択モデルを構築した。

4－3－1 豊田市－田原市間経路（7～9時台）への適用

（1）経路の設定

豊田市→田原市間の経路を実際の走行経路を元に、以下のように設定した。

経路1：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道1号→小坂井バイパス（有料道路）→国道23号→豊川橋→県道2号）

経路2：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道1号→国道23号→豊川橋→県道2号）

経路3：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道1号→県道2号）

経路4：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道1号→国道23号→県道2号）

経路5：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道248号→国道23号→県道383号→国道23号→豊川橋→県道2号）

経路6：高速道利用経路（国道248号→伊勢湾岸自動車道、東名自動車道（豊田東IC→音羽蒲郡IC（25.8km））→国道1号→国道23号→豊川橋→県道2号）

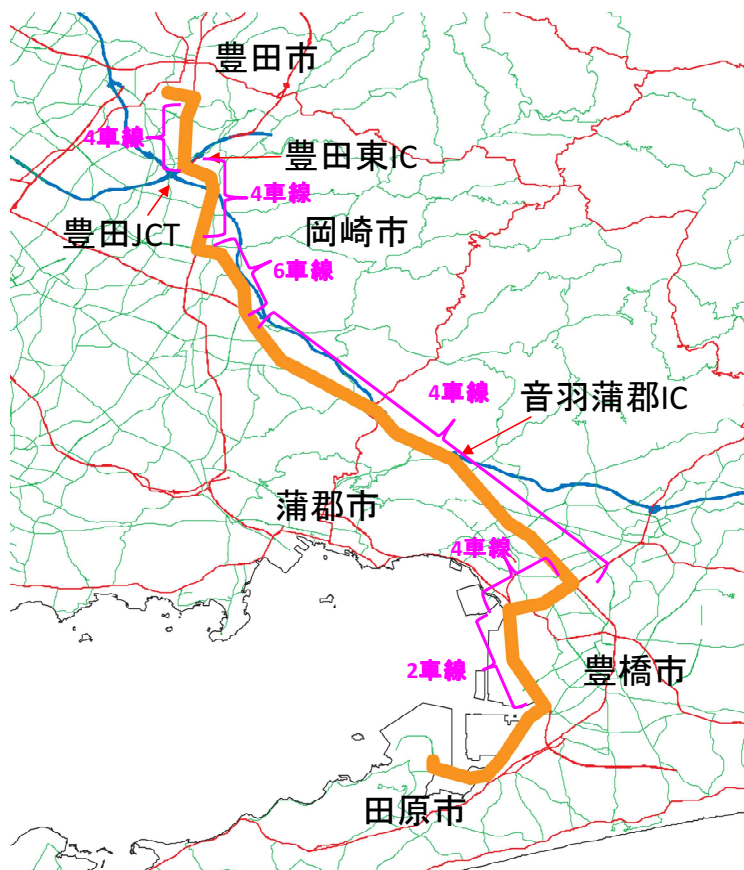


図 4-2 経路 1 の設定

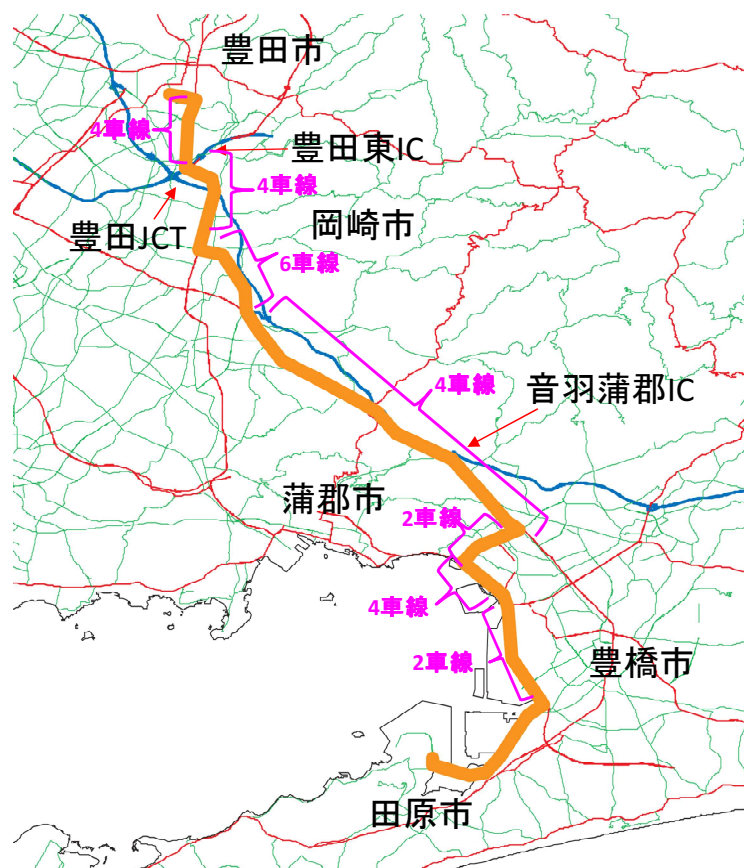


図 4-3 経路 2 の設定

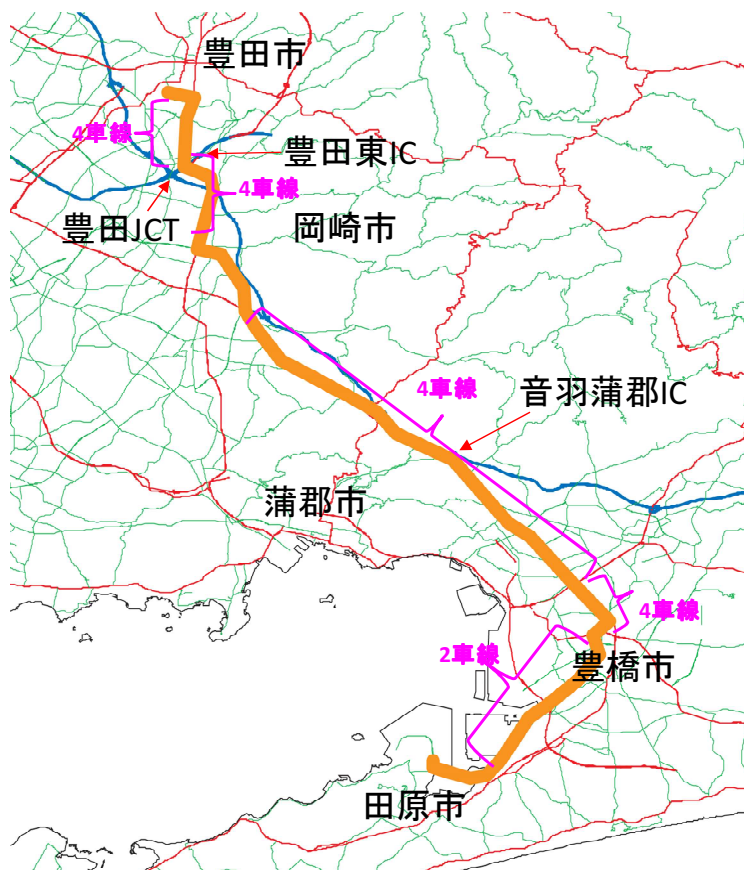


図 4-4 経路 3 の設定

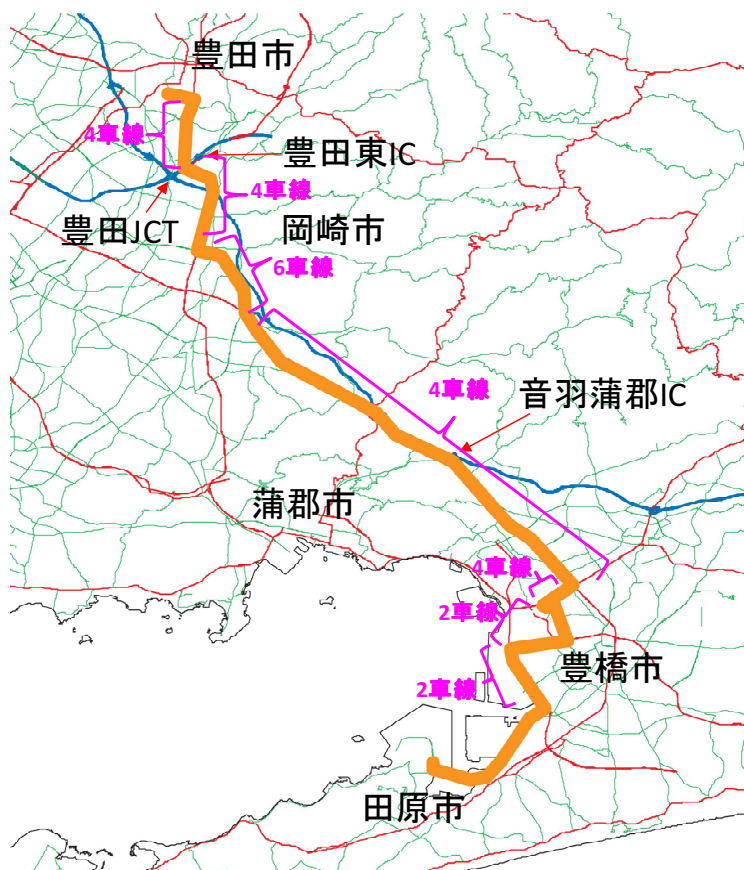


図 4-5 経路 4 の設定

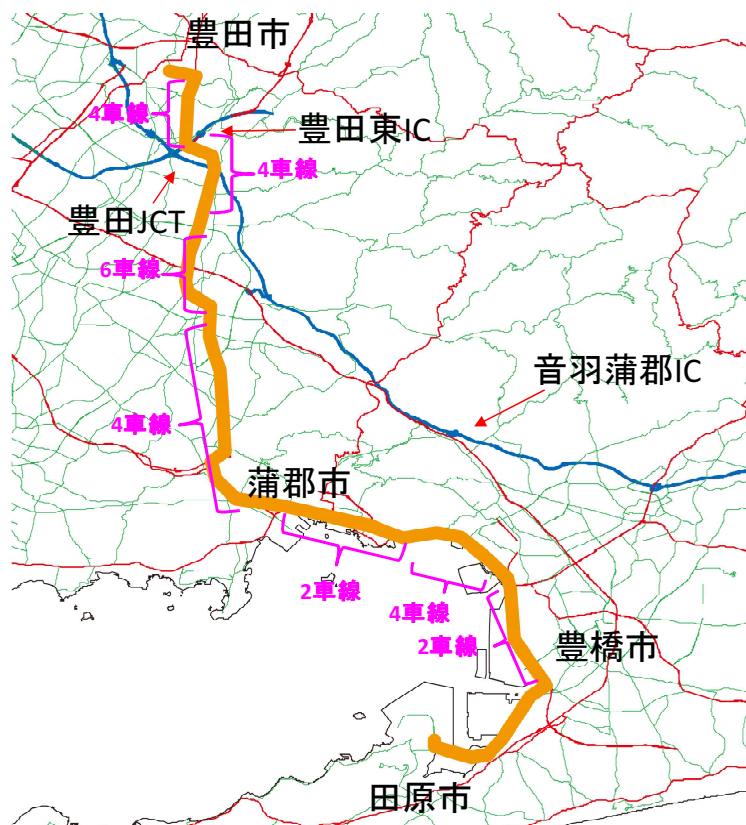


図4-6 経路5の設定



注) 紫色は高速利用区間

図4-7 経路6の設定

(2) リンク設定

(1) で設定した経路を分割し、下記の 17 リンクを設定した。各リンクで交通事故確率に従って障害が生じる。

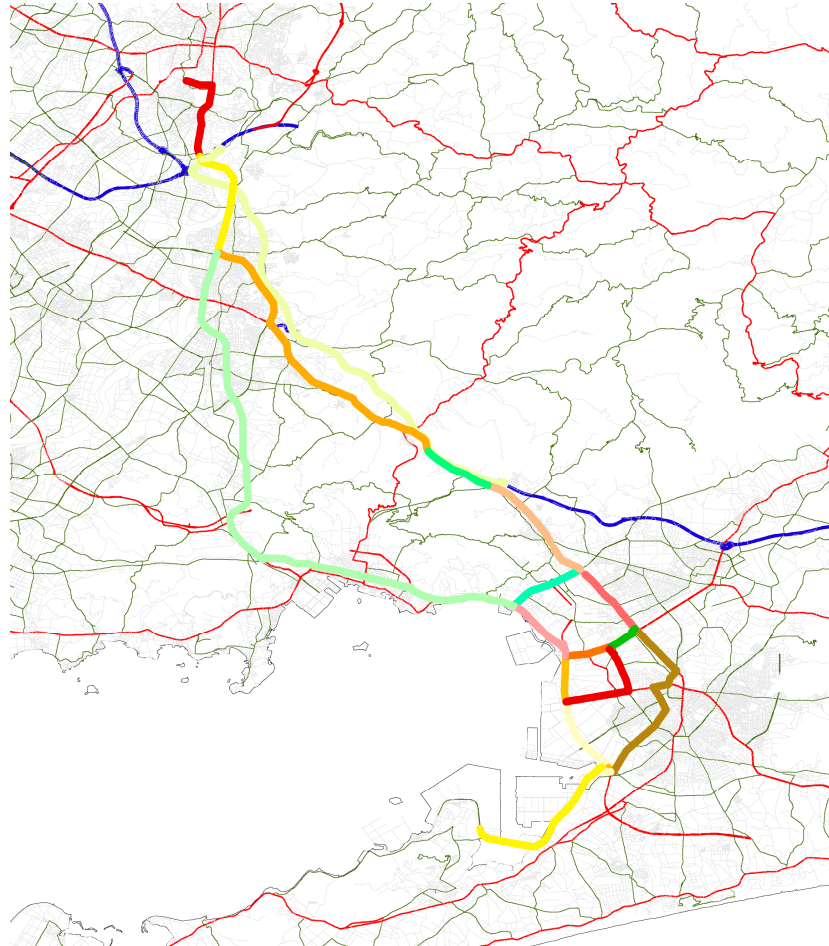


図4-8 17リンクの設定

(3) 所要時間・有料道路料金条件

ア. 所要時間条件

強化値の推計等に用いる経路の時刻 t の所要時間はプローブデータ計測結果から得られる、平均所要時間、標準偏差より推計する。

- ・所要時間分布は、正規分布を仮定した、ただし、自由走行速度を設定し、それ以上速く移動できないとした。
- ・時間帯は、7~9 時台、10~12 時台、13~15 時台、16~18 時台、19~21 時台、22~6 時台の 6 区分に設定。ただし、以下に示す、所要時間の変動の推計では、7~9 時台のデータを用いて行った。
- ・変動の集計は東名集中工事がない期間の所要時間分布を用いて推計した。

①道路区間の所要時間分布を算定

プローブデータより、道路区間毎の平均所要時間、所要時間の標準偏差、隣り合う道路区間の共分散を算定

注) 東名集中工事期間外、平日、7~9 時台のデータを用いた

②経路の所要時間分布を設定

経路の平均所要時間

$$\mu_l = \sum_i^n \mu_i \quad (4.18)$$

経路の所要時間の標準偏差

$$\sigma_l = \sqrt{\sum_i^n \sigma_i^2 + 2 \sum_i^{n-1} \sum_{j=i+1}^n COV(X_i, X_j)} \quad (4.19)$$

以上で求めた平均所要時間と標準偏差の正規分布に従うとして、経路の時刻 t の所要時間を推計

μ_l : 区間 l の平均所要時間

σ_l : 区間 l の標準偏差

μ_i : 区間 i の平均所要時間

σ_i : 区間 i の標準偏差

$COV(X_i, X_j)$: 区間 i 、区間 j の所要時間の共分散

各経路の平均所要時間、標準偏差を示す。平均所要時間、標準偏差ともに、経路 1 が最も小さい。

表 4－2 各経路の条件

| | 距離 (km) | 平均所要時間 (分) | 標準偏差 (分) | 参考) 95%所要 時間 (分) |
|-----------------|------------|---------------|-------------|---------------------|
| 経路 1 (一般道のみ) | 60.0 | 127.4 | 7.6 | 139.9 |
| 経路 2 (一般道のみ) | 60.5 | 132.7 | 8.8 | 147.1 |
| 経路 3 (一般道のみ) | 59.5 | 152.2 | 11.6 | 171.2 |
| 経路 4 (一般道のみ) | 64.8 | 132.8 | 7.7 | 145.5 |
| 経路 5 (一般道のみ) | 62.3 | 139.3 | 8.0 | 152.4 |
| 経路 6 (高速利用) | 62.9 | 101.8 | 7.2 | 113.6 |

注) $95\% \text{所要時間} = \text{平均所要時間} + 1.64 \times \text{標準偏差}$

東名集中工事期間外、平日、7～9 時台のデータを用いた値

イ. 有料道路料金条件

PhoneGPS を搭載した貨物車は最大積載量 5t 以上の貨物車であるため、有料道路料金は、東名高速道路では大型車、小坂井バイパスでは大型車（1）の料金を用いた。

表 4－3 有料道路料金条件

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|-------------|---------|------|------|------|------|-----------------------|
| 利用区間 | 小坂井バイパス | - | - | - | - | 豊田東 IC→音羽 蒲郡 IC |
| 通常料金 (円) | 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,250 |

表 4－4 有料道路（NEXCO 管理道路）の車種区分

| 車種区分 | 自動車の種類 |
|-------|--|
| 軽自動車等 | 軽自動車 |
| | 二輪自動車（側車付きを含む） |
| 普通車 | 小型自動車（二輪自動車及び側車付き二輪自動車を除く） |
| | 普通乗用自動車 |
| | トレーラ（けん引軽自動車と被けん引自動車（1 車軸）との連結車両） |
| 中型車 | 普通貨物自動車（車両総重量 8t 未満かつ最大積載量 5t 未満で 3 車軸以下のもの及び被けん引自動車を連結していないセミトレーラ用トラクターで 2 車軸のもの） |
| | マイクロバス（乗車定員 11 人以上 29 人以下で車両総重量 8t 未満のもの） |
| | トレーラ（けん引軽自動車と被けん引自動車（2 車軸以上）との連結車両及びけん引普通車と被けん引自動車（1 車軸）との連結車両） |
| 大型車 | 普通貨物自動車（車両総重量 8t 以上又は最大積載量 5t 以上で 3 車軸以下、及び車両総重量 25t 以下（ただし、最遠軸距 5.5m 未満又は車長 9m 未満のものについては 20t 以下、最遠軸距 5.5m 以上 7m 未満で車長が 9m 以上のもの及び最遠軸距が 7m 以上で車長 9m 以上 11m 未満のものについては 22t 以下）かつ 4 車軸） |
| | バス（乗車定員 30 人以上又は車両総重量 8t 以上の路線バス及び車両総重量 8t 以上で、乗車定員 29 人以下かつ車長 9m 未満のもの） |
| | トレーラ（けん引普通車と被けん引自動車（2 車軸以上）との連結車両、けん引中型車と被けん引自動車（1 車軸）との連結車両及びけん引大型車（2 車軸）と被けん引自動車（1 車軸）との連結車両） |
| 特大車 | 普通貨物自動車（4 車軸以上で、大型車に区分される普通貨物自動車以外のもの） |
| | トレーラ（けん引中型車と被けん引自動車（2 車軸以上）との連結車両、けん引大型車と被けん引自動車との連結車両で車軸数の合計が 4 車軸以上のもの及び特大車がけん引する連結車両） |
| | 大型特殊自動車 |
| | バス（乗車定員 30 人以上のもの、または車両総重量 8t 以上で車長 9m 以上のもの（いずれも路線バスを除く）） |

表 4－5 有料道路（愛知県道路公社管理道路）の車種区分

| 車種区分 | 自動車の種類 |
|--------|---|
| 普通車 | 小型乗用、普通乗用、普通貨物、（総重量 8 t 未満・最大積載 5 t 未満・3 軸以下） |
| 大型車(Ⅰ) | 乗合バス、（8 t 以上・29 人以下）、普通貨物、（総重量 8 t 以上又は最大積載 5 t 以上・3 軸以下） |
| 大型車(Ⅱ) | 観光バス、普通貨物、（4 軸以上）、大型特殊 |
| 軽自動車等 | 軽自動車、二輪車自動車、小型特殊 |
| 軽車両等 | 原動機付自転車、軽車両（自転車等） |

(4) 繰り返し計算結果

各経路のコストのパラメータである有料道路の料金比率 α を、実データの走行割合と、モデルでの推計結果が近似するように設定した。 $\alpha = 4.0$ 程度で現況の経路選択率に近い結果が得られた。しかし、その場合でも経路 2、経路 4 での経路選択率が若干大きく、経路 1 の経路選択率が小さく推計された。また、実データには存在する経路 3 は、平均所要時間、標準偏差ともに他の経路に比べてかなり大きく、モデルでは経路 3 の出現を再現できなかった。経路 3 は平均所要時間が 152.2 分、標準偏差が 11.6 分と、高速利用経路である経路 6 を除いて最も平均所要時間と標準偏差が小さい経路 1 の平均所要時間 127.4 分、標準偏差 7.6 分に比べて、平均所要時間で 24.8 分、標準偏差で 4.0 分と大幅に大きい。そのため、モデル上では経路 3 は選択されないが、実際の経路選択では経路 3 も選択され、経路 1 や経路 6 よりも多く選択されている。実際の経路選択の状況と所要時間の関係に乖離があり、これは実際の利得構造が所要時間や有料道路料金以外の側面でも決定されている可能性があることを示唆しており、利得構造を設定する上で課題となる。

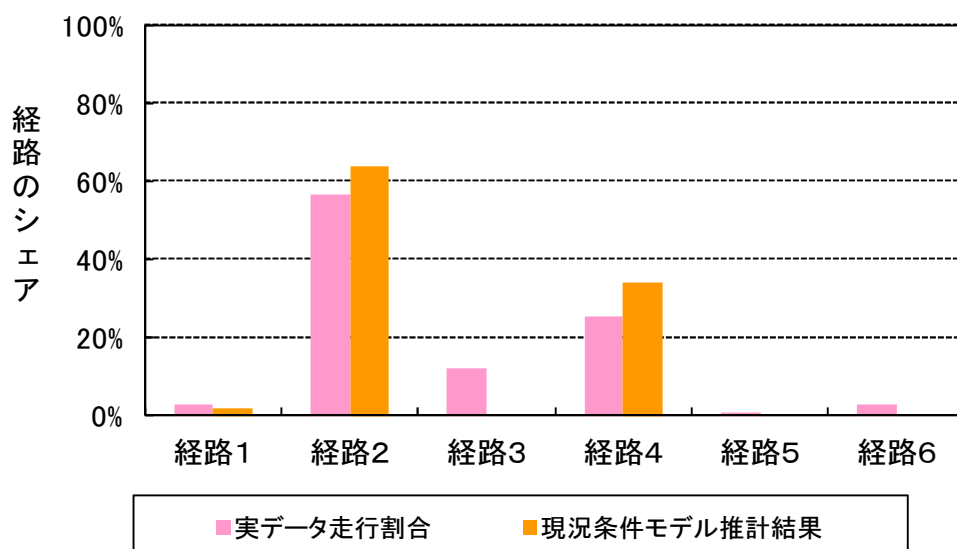


図 4-9 現況条件モデル推計結果

表 4-6 平均所要時間の場合の各経路のコスト

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| コスト (円/台) | 11,699 | 11,455 | 12,741 | 11,521 | 11,987 | 14,289 |

経路 2 と経路 4 のみが残し、他の経路の選択率は概ねゼロになった。実際の経路選択率では、経路 3 が 10%程度存在するが、モデルでの選択率では経路 3 の出現を再現できなかった。

経路 3 と経路 6 の選択率は初めの回の頃からほぼゼロであり、300 回前後で経路 5 がゼロになり、経路 5 が緩やかに選択率ゼロに向かって推移している。したがって、経路 2 および経路 4 のみが残る結果になると考えられる。経路 2 と経路 4 の関係は 1,000 回の計算の中で変化している。経路の選択率が近づいたり、離れたりしている。1,000 回目は比較的離れた状態であり、800 回以降は安定した傾向であるが、まだ関係性が変化する可能性もあると考えられる。

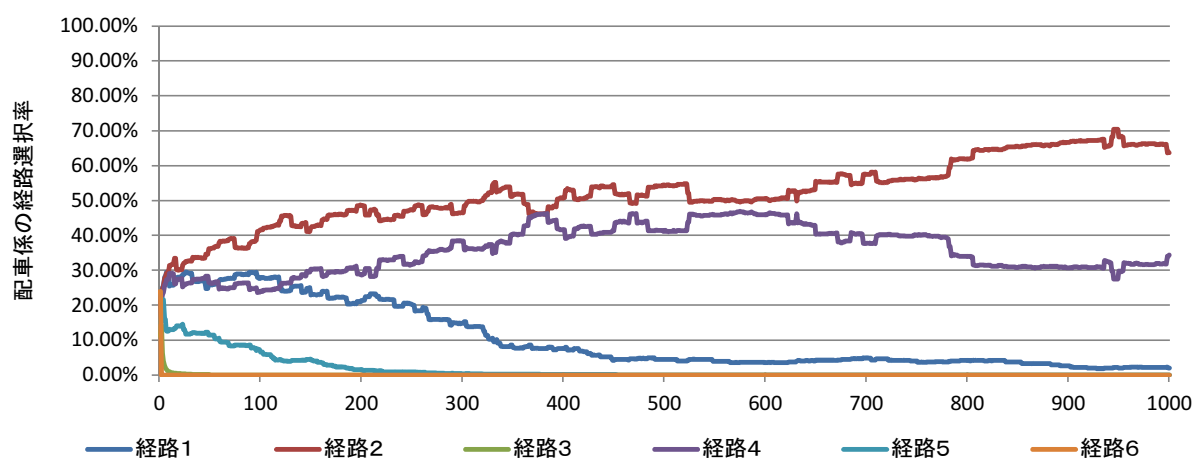


図 4-10 現況条件モデル推計結果

4－3－2 豊田市－田原市間経路（19～21時台）への適用

（1）経路の設定

7～9時台と同じ下記の6経路を設定した。

経路1：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道1号→小坂井バイパス（有料道路）→国道23号→豊川橋→県道2号）

経路2：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道1号→国道23号→豊川橋→県道2号）

経路3：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道1号→県道2号）

経路4：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道1号→小坂井バイパス（有料道路）→国道23号→県道2号）

経路5：一般道のみ利用経路（国道248号→県道26号→国道248号→国道23号→県道383号→国道23号→豊川橋→県道2号）

経路6：高速道利用経路（国道248号→伊勢湾岸自動車道、東名自動車道（豊田東IC→音羽蒲郡IC（25.8km））→国道1号→国道23号→豊川橋→県道2号）

(2) 所要時間・有料道路料金条件

ア. 所要時間条件

平均所要時間、標準偏差ともに経路 6（高速道路を利用する経路）が最も小さく、次いで、経路 5 の所要時間、標準偏差が小さい。ただし、その差は、7～9 時台に比べると小さい。また、標準偏差は各経路でほとんど差がない。

表 4－7 経路の所要時間条件

| | 距離 (km) | 平均所要時間 (分) | 標準偏差 (分) | 参考) 95%所要 時間 (分) |
|-----------------|------------|---------------|-------------|---------------------|
| 経路 1 (一般道のみ) | 60.0 | 106.0 | 5.4 | 114.8 |
| 経路 2 (一般道のみ) | 60.5 | 106.8 | 5.3 | 115.6 |
| 経路 3 (一般道のみ) | 59.5 | 121.4 | 5.4 | 130.2 |
| 経路 4 (一般道のみ) | 64.8 | 117.3 | 5.3 | 125.9 |
| 経路 5 (一般道のみ) | 62.3 | 115.6 | 5.5 | 124.7 |
| 経路 6 (高速利用) | 62.9 | 83.6 | 5.1 | 91.9 |

注) 95%所要時間＝平均所要時間＋1.64×標準偏差

東名集中工事期間外、平日、19～21 時台のデータを用いた値

イ. 有料道路料金条件

PhoneGPS を搭載した貨物車は最大積載量 5t 以上の貨物車であるため、有料道路料金は、東名高速道路では大型車、小坂井バイパスでは大型車（1）の料金を用いた。

表 4－8 有料道路料金条件

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|-------------|---------|------|------|------|------|-----------------------|
| 利用区間 | 小坂井バイパス | - | - | - | - | 豊田東 IC→音羽 蒲郡 IC |
| 通常料金 (円) | 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,250 |

(3) 現況条件での試算結果

各経路のコストのパラメータである有料道路の料金比率 α を、実データの走行割合と、モデルでの推計結果が近似するように設定した。 $\alpha = 1.0$ 程度で現況の経路選択率に近い結果が得られた。しかし、その場合でも経路2での経路選択率若干大きく、経路1の経路選択率が小さく推計された。また、実際に選択されている経路4の選択が表現されなく、実際には選択されていない経路6の選択が表現される結果となっている。経路4は2番目に平均所要時間が長くモデル上は経路が選択されない結果となっているが、実際は経路が選択されている。

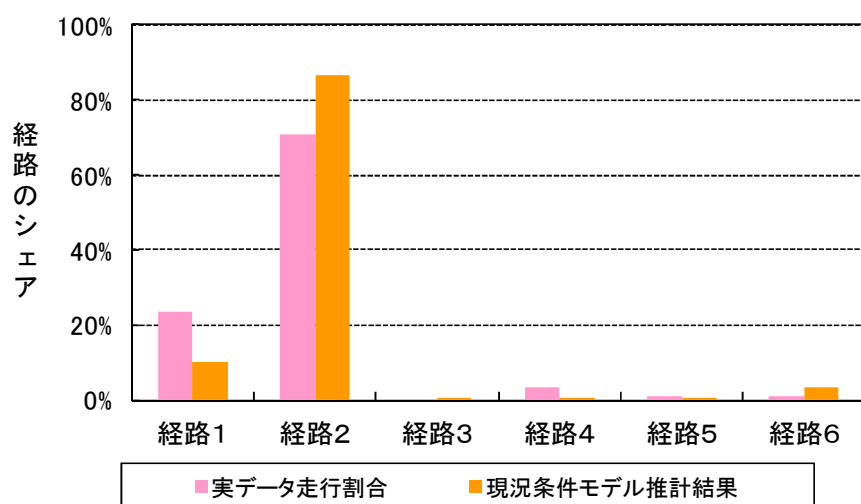


図 4-11 現況条件モデル推計結果

繰り返し計算を行うごとに経路2の選択確率が高まり、1000回で90%に迫る選択率となった。経路1が約10%に収束しており、その他の経路の選択率はほぼゼロに近くなった。実際には経路4の選択率が経路1の次に大きいですが、経路4は繰り返し計算の早々に選択率がゼロとなり、モデルでは経路4の出現を表現できなかった。

経路3と経路4は約200回で選択率がゼロとなり、経路5は約400回で選択率がゼロとなった。経路6は1,000回時点で選択率が数%存在するが、まだ減少を続けており、回が進めばいずれ選択率がゼロになるものと推測される。一方、経路1の選択率は200回以降安定して10%程度を推移している。したがって、最終的には、経路2が90%、経路1が10%程度の選択率に到達するものと推測される。

表 4-9 平均所要時間の場合の各経路のコスト

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|--------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| コスト (円/台) | 9,663 | 9,577 | 10,540 | 10,398 | 10,273 | 9,248 |

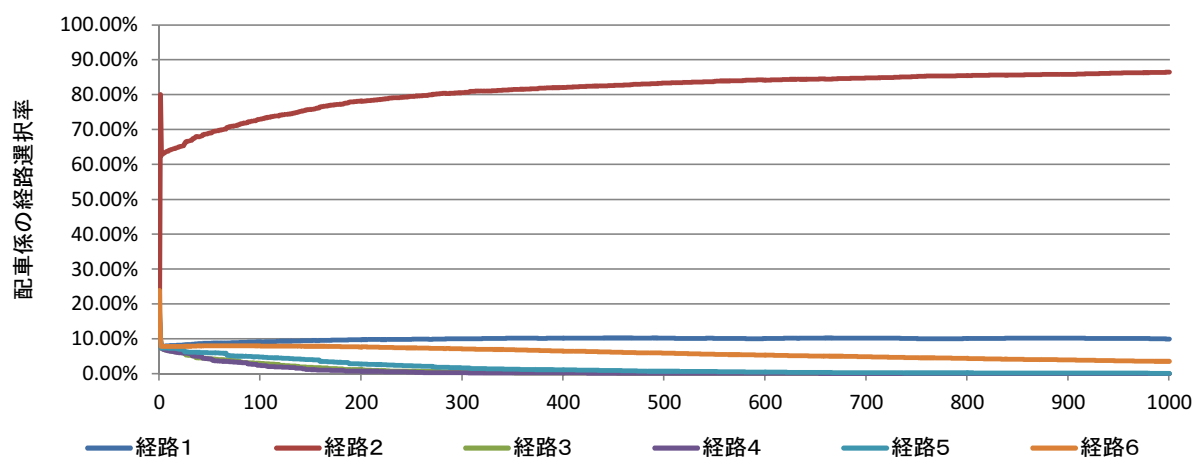


図 4 -12 現況条件モデル推計結果

4－3－3 豊田市－飛島村間経路（7～9時台）への適用

（1）経路の設定

豊田市から飛島村への実際の経路をもとに、以下の6経路を設定した。

経路1：一般道のみ利用経路（国道155号→国道1号→国道23号→国道302号）

経路2：高速道路利用経路（国道155号→国道1号→国道23号→金城埠頭線→伊勢湾岸自動車道（名港中央IC・飛島IC（2.0km））→国道302号）

経路3：高速道路利用経路（国道155号→県道56号→伊勢湾岸自動車道（豊田南IC・飛島IC（24.1km））→国道302号）

経路4：一般道のみ利用経路（県道284号→県道239号→国道1号→国道23号→国道302号）

経路5：高速道路利用経路（国道155号→国道1号→伊勢湾岸自動車道（豊明IC・飛島IC（16.5km））→国道302号）

経路6：高速道路利用経路（国道155号→県道56号→県道284号→県道239号→県道57号→国道23号→伊勢湾岸自動車道（名古屋南IC・飛島IC（11.2km））→国道302号）



図 4-13 豊田－飛島間経路（経路 1）



注) 紫色は高速利用区間

図 4-14 豊田－飛島間経路（経路 2）



注) 紫色は高速利用区間

図 4-15 豊田－飛島間経路（経路 3）



図 4-16 豊田－飛島間経路（経路 4）



注) 紫色は高速利用区間

図 4-17 豊田－飛島間経路（経路 5）



注) 紫色は高速利用区間

図 4-18 豊田－飛島間経路（経路 6）

(2) リンクの設定

(1) で設定した経路を分割し、下記の 21 リンクを設定した。各リンクで交通事故確率に従って障害が生じる。

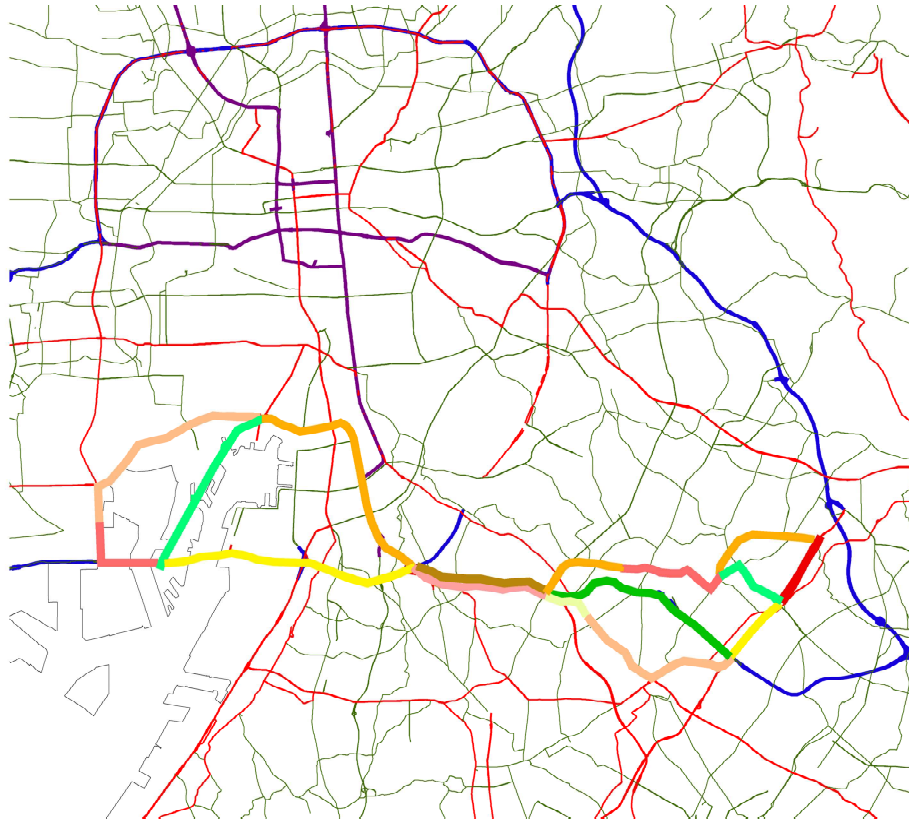


図 4-19 21 リンクの設定

(3) 所要時間・有料道路料金条件

ア. 所要時間条件

経路3の所要時間および標準偏差が最も小さく、経路2の所要時間および標準偏差が最も大きい。

表4-10 所要時間条件

| | 距離 (km) | 平均所要時間 (分) | 標準偏差 (分) | 参考) 95%所要 時間 (分) |
|----------------|------------|---------------|-------------|---------------------|
| 経路1 (一般道のみ) | 37.2 | 76.2 | 5.6 | 85.4 |
| 経路2 (高速利用) | 39.3 | 85.0 | 6.6 | 95.8 |
| 経路3 (高速利用) | 31.7 | 41.4 | 3.2 | 46.7 |
| 経路4 (一般道のみ) | 36.5 | 77.8 | 6.1 | 87.8 |
| 経路5 (高速利用) | 32.3 | 53.1 | 4.5 | 60.5 |
| 経路6 (高速利用) | 32.0 | 58.6 | 4.8 | 66.4 |

注) 95%所要時間 = 平均所要時間 + 1.64 × 標準偏差

東名集中工事期間外、平日、7～9時台のデータを用いた値

イ. 有料道路料金条件

有料道路料金は、大型車の料金を用いた。

表4-11 有料道路料金条件

| | 経路1 | 経路2 | 経路3 | 経路4 | 経路5 | 経路6 |
|-------------|-----|------------------|------------------|-----|-----------------|------------------|
| 利用区間 | - | 名港中央 IC・飛島 IC | 豊田南 IC・ 飛島 IC | - | 豊明 IC・飛 島 IC | 名古屋南 IC・飛島 IC |
| 通常料金 (円) | 0 | 300 | 1,450 | 0 | 1,200 | 1,050 |

(4) 現況条件での試算結果

各経路のコストのパラメータである有料道路の料金比率 α を、実データの走行割合と、モデルでの推計結果が近似するように設定した。 $\alpha = 1.5$ 程度で現況の経路選択率に近い結果が得られた。

経路 3 および経路 5、6 の経路選択率は概ね再現できたが、モデルにおいては、経路 1 が過大に、経路 4 が過小に、経路 5 が過大に選択される結果となった。また、実際の経路選択では選択されている経路 2 が選択されない結果となっている。経路 2 は平均所要時間も標準偏差も全経路の中で最も大きく、短距離であるが有料道路を利用しており、そのため一般化費用が他の経路に比べてかなり大きくなっているため、モデル上では経路選択されない結果となった。しかし、実際には経路 1 と同程度の選択率があり、他の要素も加味されている可能性がある。

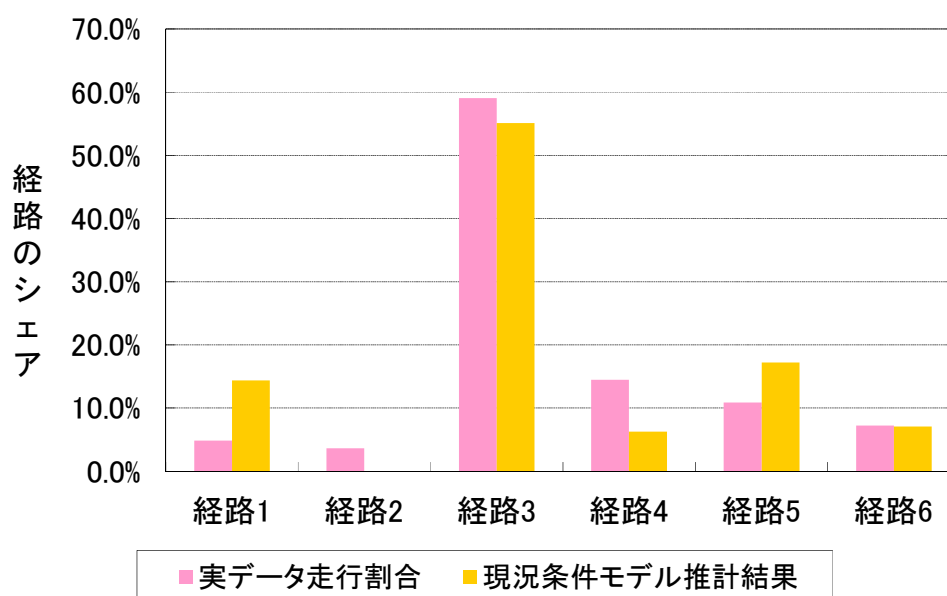


図 4-20 現況条件モデル推計結果

実データの走行割合では、経路 2 が数%存在するが、経路 2 は平均所要時間も標準偏差ともに大きいため、早々に選択率がゼロとなり、経路 2 の出現をモデルで表現できなかった。経路 3 の選択率が徐々に増加しており、1,000 回時点では約 55%の選択率であるが、さらに変化する可能性がある。しかし、経路 2 の選択率は 950 回以降はほぼ横ばいであり、1000 回時点に残っている経路 1、経路 4、経路 5、経路 6 もほぼ横ばいで推移しており、変化したとしても僅かな増加にとどまるものと推測される。

表 4-12 平均所要時間の場合の各経路のコスト

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| コスト (円/台) | 6,611 | 7,761 | 6,118 | 6,708 | 6,593 | 6,758 |

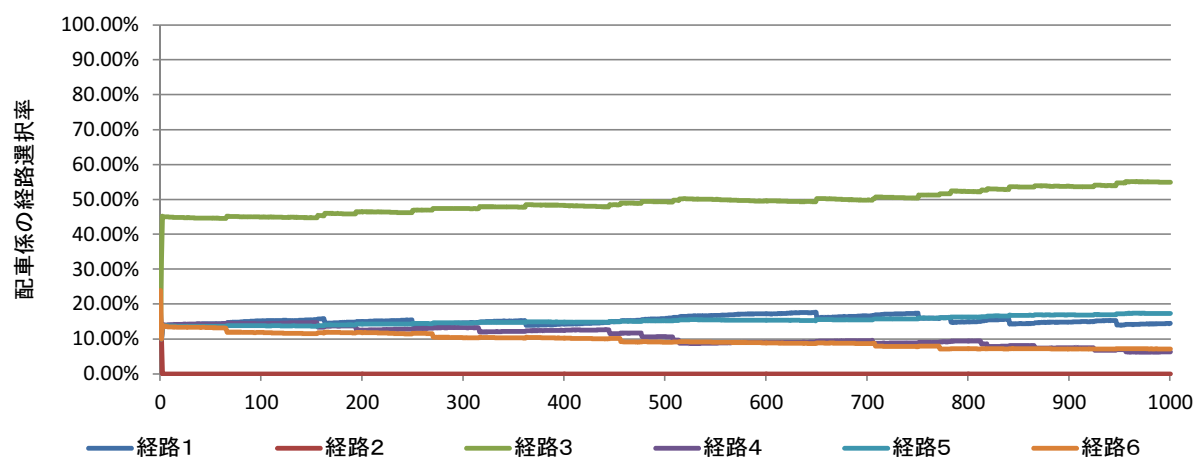


図 4 -21 現況条件モデル推計結果

4－3－4 豊田市－飛島村間経路（19～21時台）への適用

（1）経路設定

7～9時台と同じ以下の6経路を設定した。

経路1：一般道のみ利用経路（国道155号→国道1号→国道23号→国道302号）

経路2：高速道路利用経路（国道155号→国道1号→国道23号→金城埠頭線→伊勢湾岸自動車道（名港中央IC・飛島IC（2.0km））→国道302号）

経路3：高速道路利用経路（国道155号→県道56号→伊勢湾岸自動車道（豊田南IC・飛島IC（24.1km））→国道302号）

経路4：一般道のみ利用経路（県道284号→県道239号→国道1号→国道23号→国道302号）

経路5：高速道路利用経路（国道155号→国道1号→伊勢湾岸自動車道（豊明IC・飛島IC（16.5km））→国道302号）

経路6：高速道路利用経路（国道155号→県道56号→県道284号→県道239号→県道57号→国道23号→伊勢湾岸自動車道（名古屋南IC・飛島IC（11.2km））→国道302号）

(2) 所要時間・有料道路料金条件

ア. 所要時間条件

平均所要時間、標準偏差ともに経路3（豊田南 IC）から伊勢湾岸自動車道に乗る経路が最も小さく、次いで、経路5の所要時間、標準偏差が小さい。

表4-13 所要時間条件

| | 距離 (km) | 平均所要時間 (分) | 標準偏差 (分) | 参考) 95%所要 時間 (分) |
|----------------|------------|---------------|-------------|---------------------|
| 経路1 (一般道のみ) | 37.2 | 64.1 | 3.7 | 70.1 |
| 経路2 (高速利用) | 39.3 | 72.3 | 5.1 | 80.7 |
| 経路3 (高速利用) | 31.7 | 37.3 | 2.7 | 41.8 |
| 経路4 (一般道のみ) | 36.5 | 62.2 | 4.0 | 68.8 |
| 経路5 (高速利用) | 32.3 | 44.7 | 3.1 | 49.8 |
| 経路6 (高速利用) | 32.0 | 50.5 | 4.5 | 57.9 |

注) 95%所要時間＝平均所要時間＋1.64×標準偏差

東名集中工事期間外、平日、19～21時台のデータを用いた値

イ. 有料道路料金条件

有料道路料金は、大型車の料金を用いた。

表4-14 有料道路料金条件

| | 経路1 | 経路2 | 経路3 | 経路4 | 経路5 | 経路6 |
|-------------|-----|------------------|------------------|-----|-----------------|------------------|
| 利用区間 | - | 名港中央 IC・飛島 IC | 豊田南 IC・ 飛島 IC | - | 豊明 IC・飛 島 IC | 名古屋南 IC・飛島 IC |
| 通常料金 (円) | 0 | 300 | 1,450 | 0 | 1,200 | 1,050 |

(3) 現況条件での試算結果

各経路のコストのパラメータである有料道路の料金比率 α を、実データの走行割合と、モデルでの推計結果が近似するように設定した。 $\alpha = 1.5$ 程度で現況の経路選択率に近い結果が得られた。

経路3および経路4の経路選択率はおおむね再現できたが、経路5が選択されない結果となっている。また実際の輸送では選択されていなかった経路1がモデル上では数%選択されている。経路5は平均所要時間が経路3に比べて7.4分、標準偏差も0.4分長い。その一方、経路5の方が経路3より有料道路料金が250円安い、それ以上に所要時間の関係性で経路3がより利得や傾向性が相対的に高くなったために経路が選ばれなかったものと推測される。

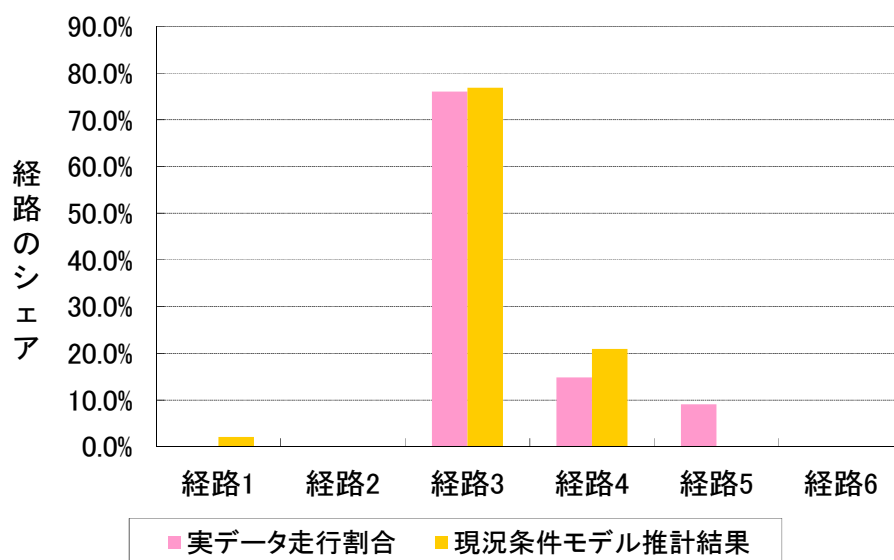


図4-22 現況条件モデル推計結果

実データの走行割合では、経路5が10%程度存在するが、経路5は早々に選択率がゼロとなり、経路5の出現をモデルで表現できなかった。一方、経路1は実データの走行割合では存在しないが、モデルでは数%存在する結果となった。ただし、経路1は徐々に減少し続けているため、結果的にゼロになる可能性が高いと考えられる。500回以降は経路3と経路4の間でいくらかの増減はあるが、安定した傾向となり、1,000回目では、経路3と経路4で選択率をそれぞれ80%、20%分け合う形となった。今後も経路3と経路4で選択率を分け合う形となり、経路3が70~80%、経路4が20~30%で推移する状況が続くものと推測される。

表4-15 平均所要時間の場合の各経路のコスト

| | 経路1 | 経路2 | 経路3 | 経路4 | 経路5 | 経路6 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| コスト (円/台) | 5,730 | 6,841 | 5,827 | 5,572 | 5,993 | 6,174 |

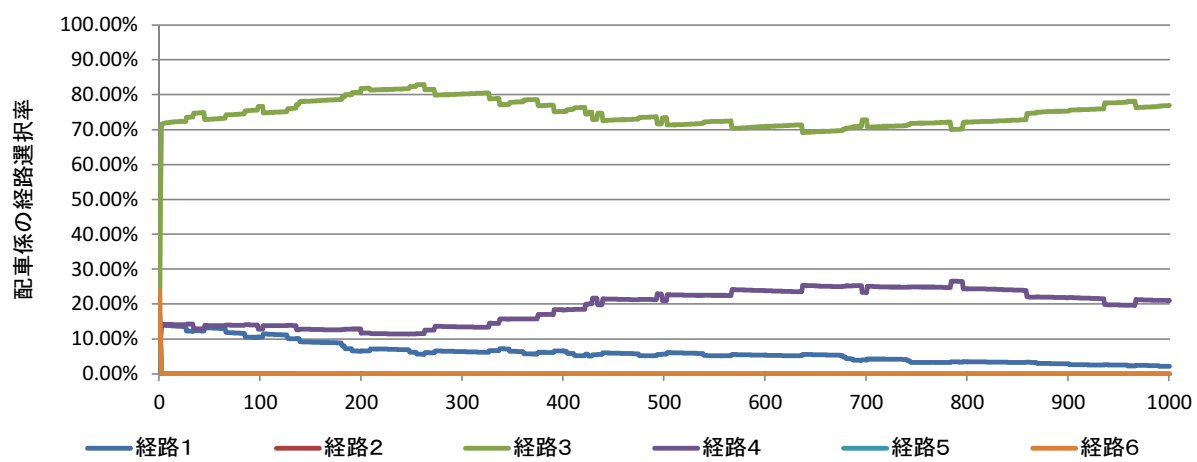


図 4 -23 現況条件モデル推計結果

4-4 デーモンの学習を加えたモデルの検討

ここまでは、デーモンの戦略は m 個のリンクに対して毎回同じ確率でランダムに障害を起こすものと考えてモデルを構築したが、デーモンも学習するとした場合のモデル構築を試みる。豊田―飛島間の輸送において検討する。

(1) 変更の方針

デーモンにも強化値を設定し、リンクに交通事故を発生させる確率を変化させるものとする。

(2) 強化の方法

配車担当者：配車担当者が標準的な所要時間でのコストから節約できた場合には強化される。

デーモン：配車担当者が標準的な所要時間でのコスト以上に消費した場合には強化される。

(3) アウトプット

配車担当者の経路 a～f(6 種類)選択確率とデーモンのリンク 1～21 へ事故を発生させる確率が示される。

配送担当者の経路 a～f(6 種類)選択確率

| 回 | 1 | 2 | 3 | ... | 1000 |
|------|-------------|-------------|-------------|-----|--------------|
| 経路 a | $P_{A.001}$ | $P_{A.002}$ | $P_{A.003}$ | ... | $P_{A.1000}$ |
| 経路 b | $P_{B.001}$ | $P_{B.002}$ | $P_{B.003}$ | ... | $P_{B.1000}$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 経路 f | $P_{F.001}$ | $P_{F.002}$ | $P_{F.003}$ | ... | $P_{F.1000}$ |

デーモンのリンク 1～21 への事故発生確率

| 回 | 1 | 2 | 3 | ... | 1000 |
|--------|--------------|--------------|--------------|-----|---------------|
| リンク 1 | $P_{01.001}$ | $P_{01.002}$ | $P_{01.003}$ | ... | $P_{01.1000}$ |
| リンク 2 | $P_{02.001}$ | $P_{02.002}$ | $P_{02.003}$ | ... | $P_{02.1000}$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| リンク 17 | $P_{17.001}$ | $P_{17.002}$ | $P_{17.003}$ | ... | $P_{17.1000}$ |

(4) モデルフロー

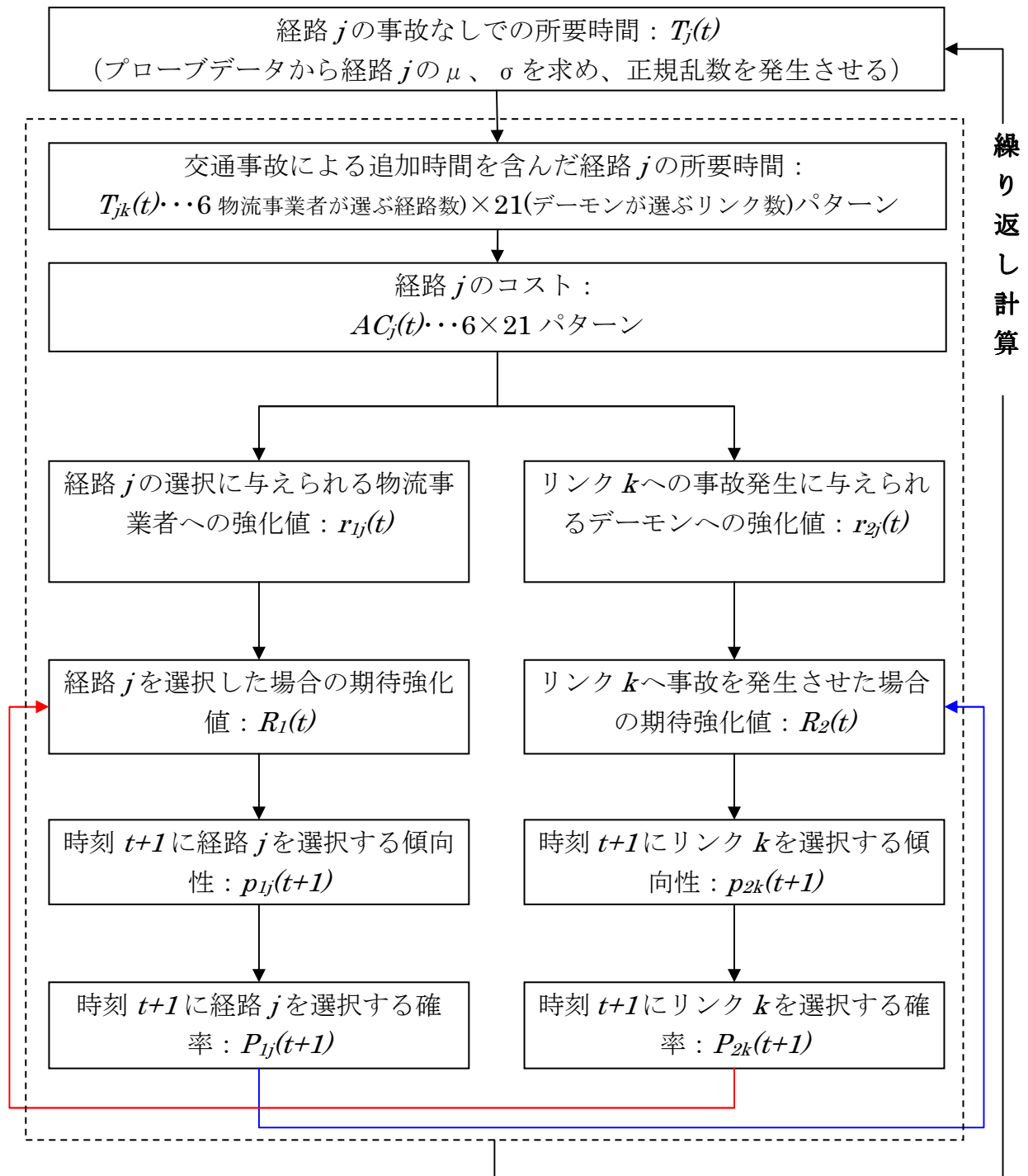


図 4-24 デーモンの学習を加えたモデルフロー

(5) 計算概要

ア. 経路毎の事故なしでの所要時間の設定

経路 a~f に設定された平均所要時間 μ 、標準偏差 σ より、経路 a~f の 1 回~100 回目の所要時間を求める。正規分布に従って乱数発生させ 1~100 回目の所要時間を求める。ボックスミュラー法によって求める。

$$\eta_1 = \sqrt{-2\log(u_1)\cos(2\pi(u_2))} \quad (4.20)$$

$$\eta_2 = \sqrt{-2\log(u_1)\sin(2\pi(u_2))} \quad (4.21)$$

η_1, η_2 : 標準正規分布をする乱数

u_1, u_2 : 一様乱数

正規分布(平均 μ_j 、分散 σ_j)をする独立な乱数 T_j は区間(0,1)の独立な正規乱数 η_1, η_2 を用いて以下のように表すことができる。

$$T_j(t) = \sigma_j \sqrt{-2\log(\eta_1)\cos(2\pi(\eta_2))} + \mu_j \quad (4.22)$$

$T_j(t)$: 経路 j の時刻 t における所要時間

σ_j : 経路 j の所要時間の標準偏差

μ_j : 経路 j の平均所要時間

イ. 配送担当者の経路選択確率の更新

①デーモンの戦略毎に経路毎の事故発生を含んだ所要時間を求める。戦略 a の場合の経路 1 の所要時間... 等、 6×21 パターンの所要時間を求める。

$$AT_j^k(t) = T_j(t) + \sum_{k=1}^{21} (D_j^k \times ET_k) \quad (4.23)$$

$AT_j^k(t)$: デーモンがリンク k に事故を発生させる場合の交通障害の発生による

追加所要時間を含んだ経路 j の時刻 t における所要時間

D_j^k : ダミー変数 (リンク k が経路 j に含まれる場合 : 1、含まれない場合 : 0)

ET_k : リンク k に事故が発生した場合のリンク k における追加所要時間

②デーモンの戦略毎に経路毎のコストを求める。戦略 a の場合の経路 1 のコスト... 等、 6×21 パターンのコストを求める。

$$AC_j = TC_j^k(t) + RC_j^k(t) + \alpha \times T_j(t) + \beta \times D \quad (4.24)$$

$TC_j^k(t)$, $RC_j^k(t)$, $T_j(t)$, D_j : デーモンがリンク k に事故を発生させる場合の、時刻 t 、戦略 j での所要時間での時間コスト、走行コスト、有料道路料金、ダミー変数

α, β : パラメータ (それぞれ、実際の経路選択の状況より設定される。)

③デーモンの戦略毎に経路毎の強化値を求める。戦略 a の場合の経路 1 の強化値... 等、 6×21 パターンの強化値を求める。

$$r_{1j}^k(t) = 0; \quad (TC_b + RC_b) - AC_j^k < 0 \quad (4.25)$$

$$r_{1j}^k(t) = 1; \quad (TC_b + RC_b) - AC_j^k \geq 0 \quad (4.26)$$

$r_{1j}^k(t)$: デーモンがリンク k に事故を発生させる場合の時刻 t の戦略 j による強化値

TC_b, RC_b : ダイヤで走行した所要時間での時間コスト、走行コスト

④経路毎に期待強化値 (デーモンの戦略確率で重み付け) を求める。

$$R_{1j}(t) = \sum_{k=1}^{21} (r_{1j}^k(t) \times p_{2k}(t)) \quad (4.27)$$

$p_{2k}(t)$: デーモンがリンク k に事故を発生させる確率

⑤期待強化値を以下の式に代入し、時刻 $t+1$ の傾向性を求める。

$$p_{1j}(t+1) = (1 - \varphi) p_{1j}(t) + R_{1j}(t) \quad (4.28)$$

⑥経路毎の傾向性から、経路選択確率を求める。(P_{A001}~P_{F001})

$$P_{1j}(t+1) = p_{1j}(t+1) / \sum_j p_{1j}(t+1) \quad (4.29)$$

$$\sum_j P_{1j}(t+1) = 1 \quad (4.30)$$

ウ. デーモンの事故発生確率の更新

①~②は配送担当者と共通。

③経路毎にデーモンの戦略毎に強化値を求める。配車係が経路 1 を選択したときの戦略 1

の強化値... 等、 21×6 パターン強化値を求める。

$$\begin{aligned} r_{2k}^j(t) &= 0; & (TC_b + RC_b) - AC_j^k &> 0 \\ r_{2k}^j(t) &= 1; & (TC_b + RC_b) - AC_j^k &\leq 0 \end{aligned} \quad (4.3.1)$$

$r_{2k}^j(t)$: 配車係が経路 j を選択したときの時刻 t の戦略 k による強化値

TC_b, RC_b : ダイヤで走行した所要時間での時間コスト、走行コスト

④戦略毎に期待強化値（配車係の経路選択率で重み付け）を求める。

$$R_{2k}(t) = \sum_{j=1}^6 (r_{2k}^j(t) \times p_{1j}(t)) \quad (4.3.2)$$

$p_{1j}(t)$: 物流事業者が経路 j を選択する確率

⑤期待強化値を以下の式に代入し、で時刻 $t+1$ の傾向性を求める。

$$p_{2k}(t+1) = (1 - \phi) p_{2k}(t) + R_{2k}(t) \quad (4.3.3)$$

⑥戦略毎の傾向性から、戦略選択確率を求める。(P₁₀₀₁~P₂₁₀₀₁)

$$P_{2k}(t+1) = p_{2k}(t+1) / \sum_k p_{2k}(t+1) \quad (4.3.4)$$

$$\sum_k P_{2k}(t+1) = 1 \quad (4.3.5)$$

エ. 1000 回まで繰り返す

イ、ウの計算結果から 2 回目の経路選択確率、事故発生確率を更新、同じ操作を 1,000 回目まで繰り返す。

（６）モデル適用結果

ア．豊田市－飛島村間経路：７～９時台モデルの構築

デーモンの学習を加えた場合、配車係もデーモンの戦略も収束せず、配車係の戦略の選択率は平均所要時間や標準偏差に関係せず、デーモンによる障害確率によって決定され、実際の経路選択率を表現できない結果となった。これは、デーモンが一般的に起こる事故率よりも高い確率で各リンクに事故を起こし、各経路でたびたび時間がかかっており、どの経路を選択しても同じような結果となるため実際の経路選択率を表現できなかったものと考えられる。

１）配車係

各回で選択率の上下があるが、経路選択率は、最初から最後まで、経路１、経路３、経路４が 20%前後、経路５と経路６が 15%前後、経路２が 5~10%の値を取り変化する状況になかった。これは経路の所要時間や標準偏差を変化させても状況の変化が見られなかった。

デーモンの学習を加えた場合、デーモンは配車係が遅く到達する様に経路のリンクに障害を発生させるため、障害を発生させないという戦略が取られなくなる。そのため、通常の事故率よりも高い確率で障害が発生することになり、所要時間や標準偏差よりも障害の発生が経路選択の支配的な要因となり、実際の経路選択確率を表現できなかったと考えられる。

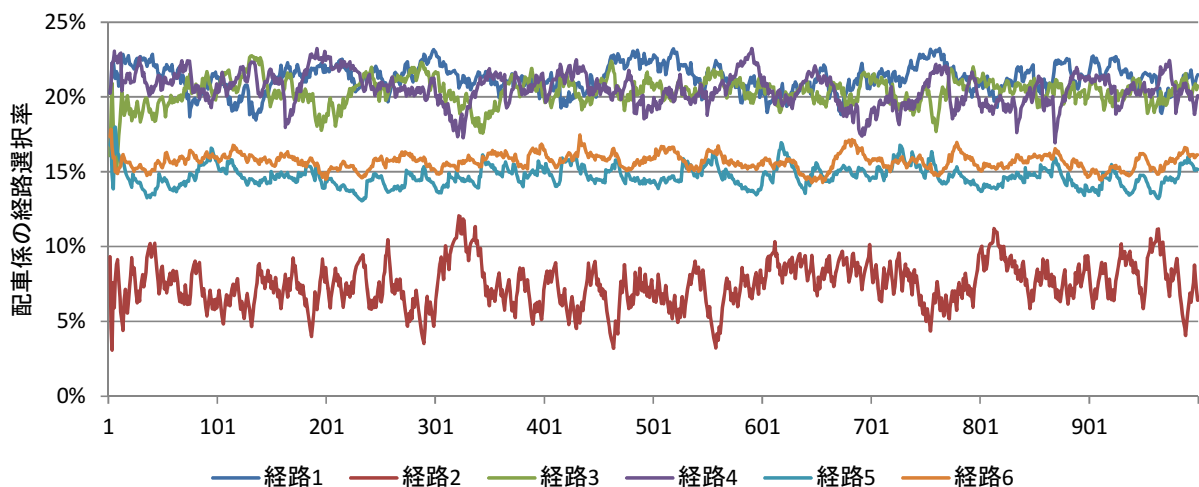


図 4-25 配車係の経路選択確率の推移（7～9 時台）

実際の経路選択率は経路3が60%程度となっているが、モデル上での経路選択率は、経路3が大きくなることはなく、経路1、経路3、経路4が同程度で約20%の選択率となり、繰り返し計算を行っても変化が小さかった。

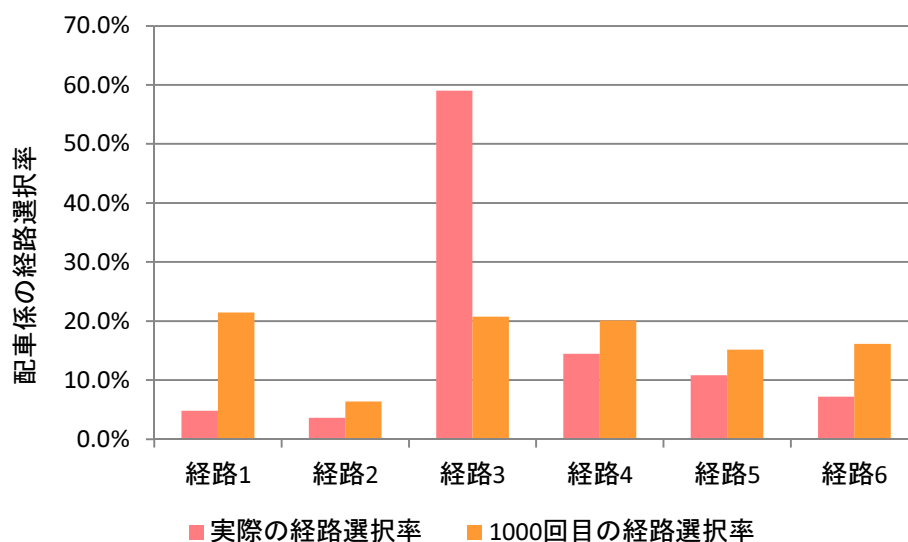


図4-26 配車係の1000回計算後の経路選択確率（7～9時台）

2) デーモン

デーモンの強化は、配車係の経路選択がうまくいかなかった場合に行われるという配車係に相対するものとしており、その結果、障害を発生させる確率はあるリンクに集中したりすることなく、それぞれのリンクに一定程度の障害を発生させる確率が存在する結果となった。

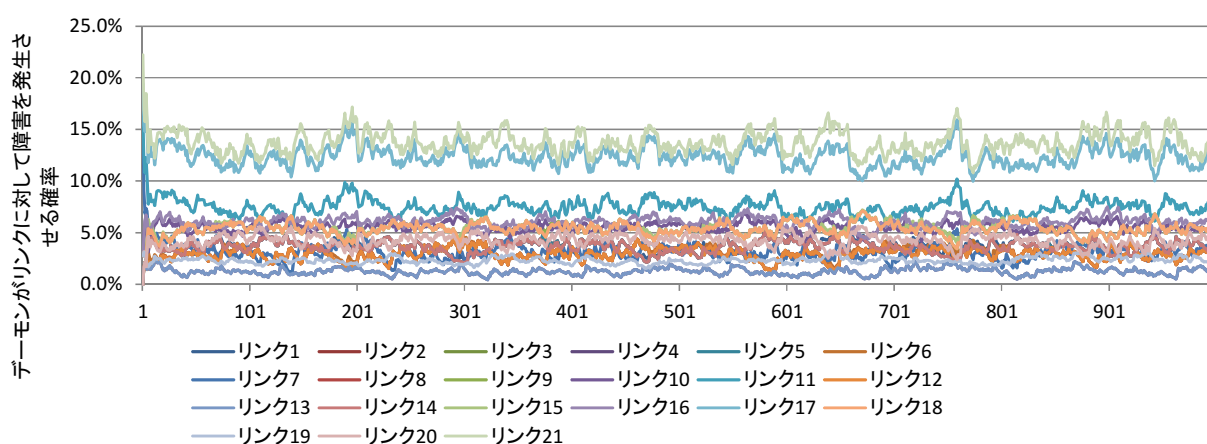


図4-27 デーモンのリンク選択確率の推移（7～9時台）

イ. 豊田市ー飛島村間経路：19～21時台モデルの構築

19～21時台でも7～9時台と同様に配車係もデーモンの戦略も収束せず、配車係の戦略の選択率は平均所要時間や標準偏差に関係せず、デーモンによる障害確率によって決定され、実際の経路選択率を表現できない結果となった。

1) 配車係

同様に、各回で選択率の上下があるが、変化する状況になかった。経路選択率は、最初から最後まで、経路1、経路3、経路4が20%前後、経路5が15%超前後、経路2と経路6が12～3%前後の値を取った。若干の違いはあるが、経路選択率の大小関係は7～9時台と共通しており、経路の平均所要時間や標準偏差による経路選択の影響は小さくなく、経路への障害確率に経路選択率が左右される結果となった。この場合でも7～9時台と同様に、経路の所要時間や標準偏差を変化させても大きな状況の変化が見られなかった。

7～9時台のモデルと同様に、所要時間や標準偏差よりも障害の発生が経路選択の支配的な要因となり、実際の経路選択確率を表現できなかったと考えられる。

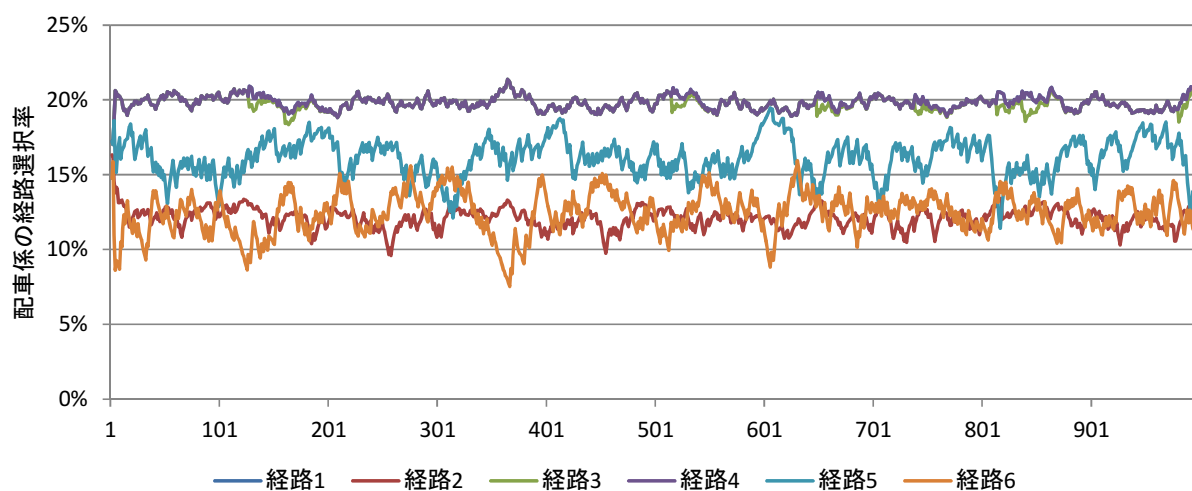


図4-28 配車係の経路選択確率の推移（19～21時台）

実際の経路選択率は経路3が75%程度となっているが、モデル上での経路選択率は、経路3が大きくなることはなく、経路1、経路3、経路4が同程度で約20%の選択率となり、繰り返し計算を行っても変化が小さかった。

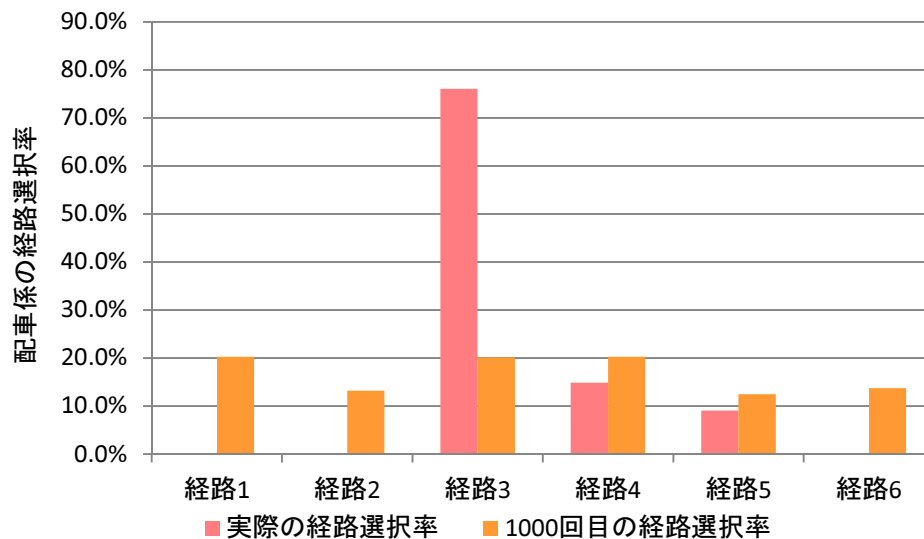


図 4 -29 配車係の 1000 回計算後の経路選択確率（19～21 時台）

2) デーモン

7～9 時台のモデルと同様に、障害を発生させる確率はあるリンクに集中したりすることなく、それぞれのリンクに一定程度の障害を発生させる確率が存在する結果となった。

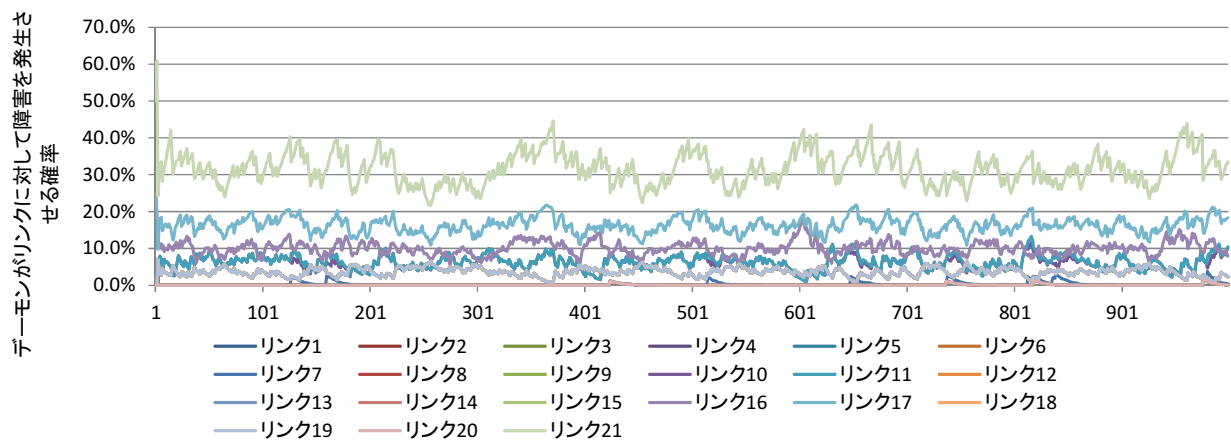


図 4 -30 デーモンのリンク選択確率の推移（19～21 時台）

4－5 参考文献

1. Roth,A.E. & Erev, I. Learning in Extensive-Form Games-Experimental Data and Simple Dynamic Models in the Intermediate Term, Games and Economic Behavior 8 164-212, 1995
2. Erev,I. & Roth, A. E . Predictiong How People Play Games: Reinforcement Learning in Experimental Games with Unique, The American Economic Review 88(4) 848-881, 1998
3. Micheal G.H.Bell. Games,Heuristics,and Risk Averseness in Vehicle Routing Problems, J.Urban Planning & Development, ,pp.37-41,2004
4. Michael G. H. Bell Mixed Route Strategies for the Risk-Averse Shipment of Hazardous Materials
5. 大浦宏邦：社会科学者のための進化ゲーム理論,勁草書房, 2008
6. 生天目 章：ゲーム理論と進化ダイナミクスー人間関係に潜む複雑系（相互作用科学シリーズ）, 森北出版, 2004
7. 添田喬, 太田光雄, 大松繁：数理統計の基礎と応用、日新出版、2000 年
8. 四辻哲章：計算機シミュレーションのための確率分布乱数生成法、プレアデス出版、2010 年
9. 交通工学会：平成 17 年度道路交通センサス（全国道路・街路交通情勢調査）一般交通量調査 基本集計表・箇所別基本表・交通量図、2007 年

5. 経路条件を変化させた場合の経路選択行動への影響分析

本章では、何らかの道路改良等によって所要時間の変動が小さくなった場合や有料道路の料金が値下げされた場合を想定し、経路選択の選択率に与える影響を分析した。

5-1 豊田市ー田原市間経路：7～9時台

(1) 所要時間変動の条件

以下のケーススタディを実施した。

ア. ケース 1

豊川橋を通過しない経路であり、豊橋市街を通過する経路 3, 4 において、標準偏差が 3/4 になった場合を想定し、経路選択への影響を推計した。平均所要時間は変わらないが、所要時間の変動の減少によって 95%所要時間は経路 3 で 171.2 分から 166.5 分に、経路 4 では 145.5 分から 142.3 分と減少し、長い所要時間になる確率が減少し、発生する所要時間がより安定している状態となっている。

ケース 1 の場合の所要時間、標準偏差は下表のようになる。

表 5-1 ケーススタディ条件（斜体が現況条件からの変更箇所）

| | 距離 (km) | 平均所要時間 (分) | 標準偏差 (分) | 参考) 95%所要 時間 (分) |
|---------------|------------|---------------|-------------|---------------------|
| 経路 1 (一般道) | 60.0 | 127.4 | 7.6 | 139.9 |
| 経路 2 (一般道) | 60.5 | 132.7 | 8.8 | 147.1 |
| 経路 3 (一般道) | 59.5 | 152.2 | 8.7 | 166.5 |
| 経路 4 (一般道) | 64.8 | 132.8 | 5.8 | 142.3 |
| 経路 5 (一般道) | 62.3 | 139.3 | 8.0 | 152.4 |
| 経路 6 (高速道) | 62.9 | 101.8 | 7.2 | 113.6 |

注 1) 95%所要時間 = 平均所要時間 + 1.64 × 標準偏差

注 2) 各経路の通過道路は 4-3-1 を参照

イ．ケース 2

ケース 2 としては、高速料金が半額になった場合を想定した。ここで、所要時間は現況条件のままとした。経路 1、経路 4、経路 6 で有料道路を使用しており、それぞれの経路の一般化費用が減少する。特に、経路 6 では 625 円減少するため、現状条件では現れなかった経路 6 の出現が期待される。

表 5-2 有料道路料金条件

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|-------------|---------|------|------|---------|------|----------------|
| 利用区間 | 小坂井バイパス | - | - | 小坂井バイパス | - | 豊田東 IC→音羽蒲郡 IC |
| 通常料金 (円) | 160 | 0 | 0 | 160 | 0 | 1,250 |
| 半額料金 (円) | 80 | 0 | 0 | 80 | 0 | 625 |

(2) 繰り返し計算結果

1,000 回の繰り返し計算の結果、1,000 回目は以下の選択確率となった。ケース 1 では標準偏差が短縮された経路 4 の選択確率が 100%となった。経路 3 については標準偏差が短縮されても平均所要時間が長く、経路選択率に残らなかった。ケース 2 では、経路 1 の選択確率が 80%を超え、最も大きくなった。これは、有料道路である小坂井バイパスの料金が半額になったためである。さらに、所要時間が東名高速道路を利用する経路 6 を除くと最も平均所要時間が短いため経路 1 の選択率が高くなったものと考えられる。一方、有料道路料金が大きく減少した経路 6 であるが、1,000 回目の経路選択には残らなかった。これは、豊川市から田原市への 7～9 時台の輸送では、時間費用に対する有料道路料金の重みが大きく、多少時間がかかっても有料道路を使わない経路を選択する傾向が強いため、半額になっても、有料道路料金が低い経路 6 の選択は行われなかったものと推測される。

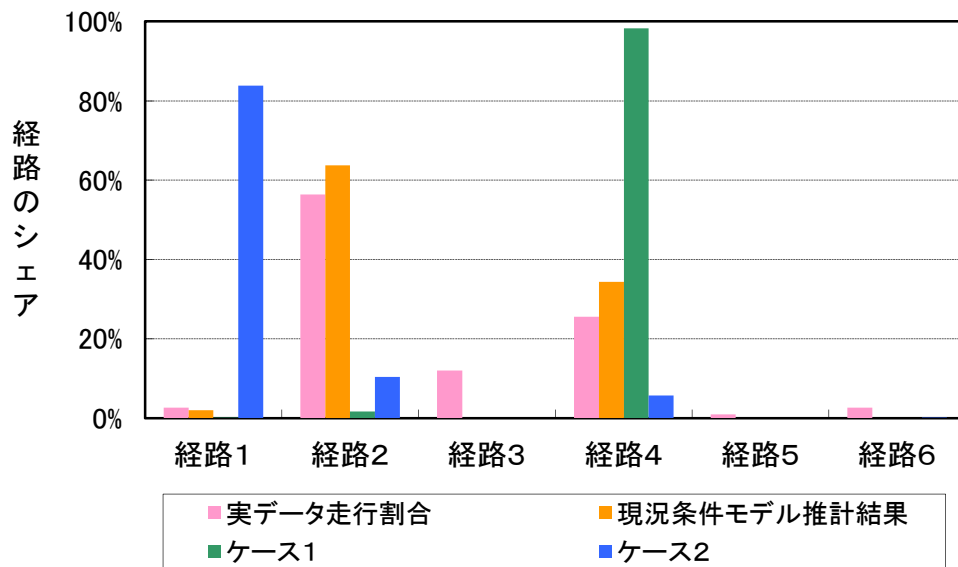


図 5-1 現況条件モデル推計結果

ケース 1 では、900 回以降に経路選択率がほぼ 100%に近付いた結果となった。100 回付近では、経路 1、経路 2、経路 4、経路 5 が存在していたが、次第に経路 2 が 300 回までにゼロになり、次に経路 5 が 700 回あたりでゼロになった。1000 回時点では経路 2 はわずかに残っている状態であるが更に進めていくと、経路 4 だけが残る結果になるものと考えられる。

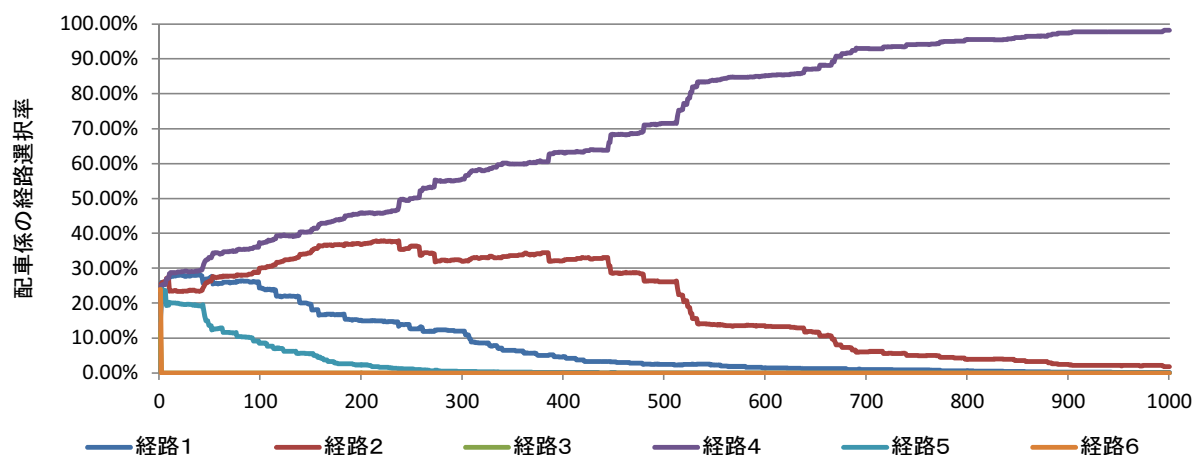


図 5-2 経路選択確率の推移（ケース 1）

ケース 2 では経路 1 の選択率が 800 回以降に 80%程度に横ばいとなった。100 回付近では、経路 1、経路 2、経路 4、経路 5、経路 6 が存在していたが、次第に経路 5 が 200 回あたりでゼロになり、次に経路 6 が 700 回あたりでゼロになった。1000 回時点では経路 2 および経路 4 がそれぞれ約 10%、約 5%となっている状態である。

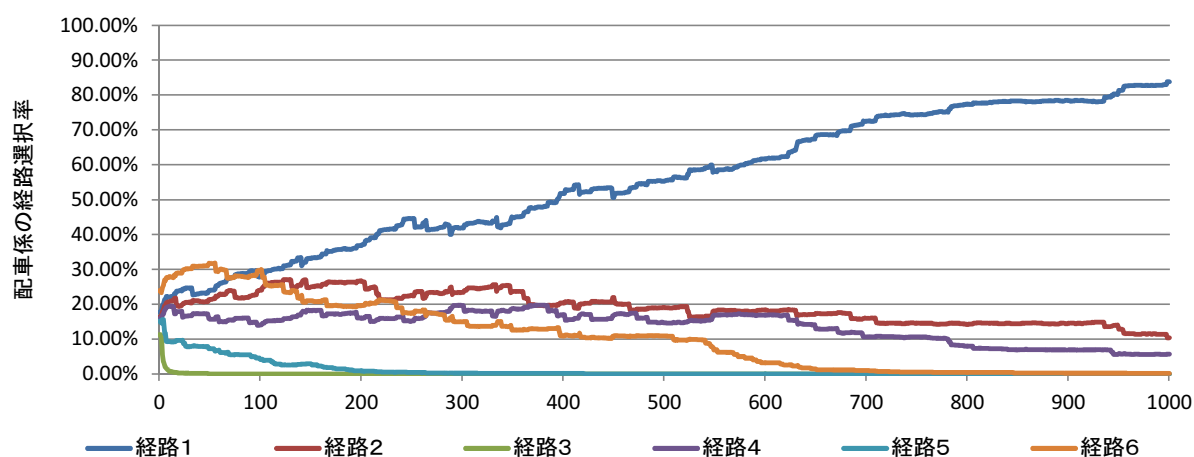


図 5-3 経路選択確率の推移（ケース 2）

5-2 豊田市-田原市間経路：19～21時台

(1) ケース設定

以下のケーススタディを実施した。

ア. ケース1

豊川橋を通過しない経路であり、豊橋市街を通過する経路3、4において、標準偏差が3/4になった場合を想定し、経路選択への影響を推計した。平均所要時間は変わらないが、所要時間の変動の減少によって95%所要時間は経路3で130.2分から128.0分に、経路4では125.9分から123.8分と減少し、長い所要時間になる確率が減少し、発生する所要時間がより安定している状態となっている。95%所要時間では経路3、経路4は現況条件でもケース1の状況でも最も長い時間であるが、標準偏差は小さくなっている。すなわち、経路3および経路4は平均所要時間は長いが、安定している経路という状態である。

ケース1の場合の所要時間、標準偏差は下表のようになる。

表5-3 ケーススタディ条件（斜体が現況条件からの変更箇所）

| | 距離 (km) | 平均所要時間 (分) | 標準偏差 (分) | 参考) 95%所要 時間 (分) |
|--------------|------------|---------------|-------------|---------------------|
| 経路1 (一般道) | 60.0 | 106.0 | 5.4 | 114.8 |
| 経路2 (一般道) | 60.5 | 106.8 | 5.3 | 115.6 |
| 経路3 (一般道) | 59.5 | 121.4 | 4.1 | 128.0 |
| 経路4 (一般道) | 64.8 | 117.3 | 4.0 | 123.8 |
| 経路5 (一般道) | 62.3 | 115.6 | 5.5 | 124.7 |
| 経路6 (高速道) | 62.9 | 83.6 | 5.1 | 91.9 |

注1) 95%所要時間＝平均所要時間＋1.64×標準偏差

注2) 各経路の通過道路は4-3-1を参照

イ．ケース 2

ケース 2 としては、高速料金が半額になった場合を想定した。ここで、所要時間は現況条件のままとした。経路 1、経路 4、経路 6 で有料道路を使用しており、それぞれの経路の一般化費用が減少する。特に、経路 6 では 625 円減少するため、現状条件では現れなかった経路 6 の出現が期待される。

表 5-4 有料道路料金条件

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|-------------|---------|------|------|---------|------|----------------|
| 利用区間 | 小坂井バイパス | - | - | 小坂井バイパス | - | 豊田東 IC→音羽蒲郡 IC |
| 通常料金 (円) | 160 | 0 | 0 | 160 | 0 | 1,250 |
| 半額料金 (円) | 80 | 0 | 0 | 80 | 0 | 625 |

(2) ケーススタディでの試算結果

標準偏差が3/4になったケースでは、経路選択率は変わらなかった。これは、各区間の標準偏差が、平均所要時間に比して小さい、すなわち、比較的所要時間が安定しているため、標準偏差の短縮が、経路選択に影響を及ぼさなかったためであると考えられる。また、経路3、4の平均所要時間は、経路選択が現れた経路1、2、6に比べてかなり長いために、標準偏差の減少による利得や傾向性の変化に影響を及ぼすまでに至らなかったと考えられる。

有料道路料金が半額になったケースでは、有料道路を利用する経路1、経路2の経路選択率が増加した。しかし、現況ケースからの変化量はあまり大きくない。また、大幅に一般化費用が減少した経路6の選択率が上昇し、10%超の選択率となった。一方、一般化費用が減少した経路4は所要時間および標準偏差が大きく、有料道路料金の減少値もわずかであり、有料道路料金の減少が経路が選択されるまでの影響がなかったためであると考えられる。

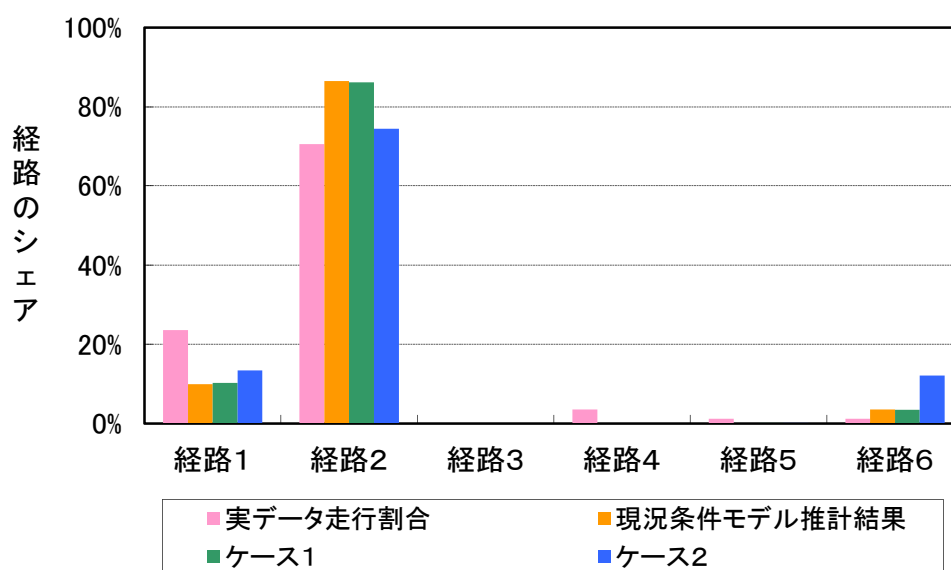


図5-4 ケーススタディ結果

ケース 1 については 800 回以降に経路 2 の選択率が 80% 超えで横ばいとなり、経路 1 については 10% 程度で横ばいとなった。経路 2 が最初から選択率が大きくなる結果となり、徐々に 90% に近付いて行っている。200 回すぎに経路 3 と経路 4 がゼロとなり、400 回すぎに経路 5 がゼロとなっている。経路 6 は 1,000 回時点で数%存在しているが、徐々に減少している傾向が続いており、最終的にゼロになる可能性が高い。一方、経路 5 は横ばいで推移しており、最終的に 10% の選択確率が残るものと推測される。

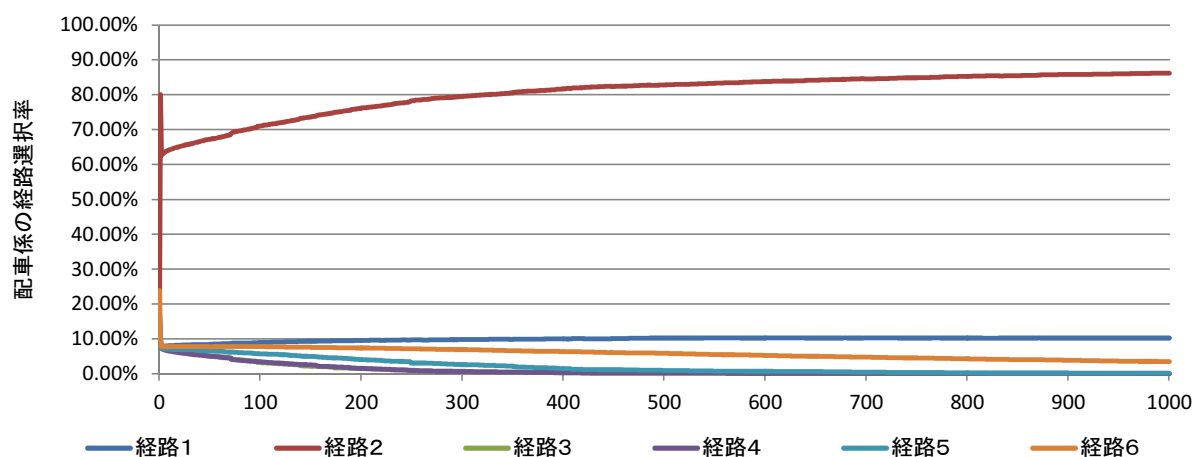


図 5-5 経路選択確率の推移（ケース 1）

ケース 2 については、600 回以降に同様の傾向になり、経路 2 が 70% 超え、経路 1 と経路 6 が 10 数%で横ばいとなった。経路 1、経路 3、経路 4、経路 5 の選択率はほぼ同様の推移をたどっており、300 回から 400 回の段階でゼロに推移している。一方、経路 1 と 6 も同様の推移をたどっており、300 回から 400 回から 10 数%でその後横ばいになっており、最終的に 1,000 回目程度の選択率で残るものと推測される。

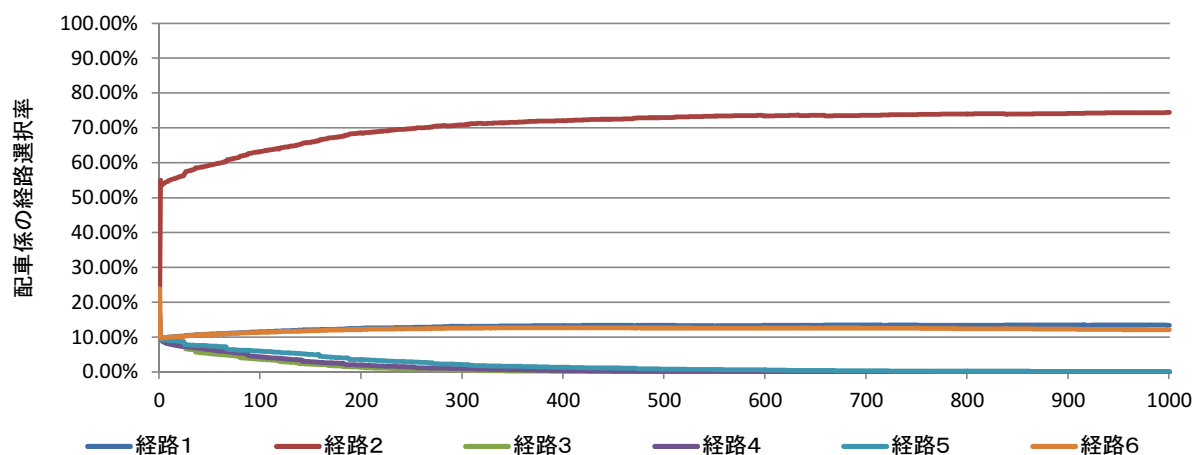


図 5-6 経路選択確率の推移（ケース 2）

5－3 豊田市－飛島村間経路：7～9時台

(1) ケース設定

以下のケーススタディを実施した。

ア. ケース1

国道23号を経由する経路1，2，4において、標準偏差が3／4になった場合を想定し、経路選択への影響を推計した。平均所要時間は変わらないが、所要時間の変動の減少によって95%所要時間は経路1で85.4分から83.1分に、経路2で95.8分から93.1分に、経路4では87.8分から85.3分と減少し、長い所要時間になる確率が減少し、発生する所要時間がより安定している状態となっている。95%所要時間では経路1、経路2、経路4は現況条件でもケース1の状況でも所要時間の長い3経路である。一方、標準偏差を見ると、経路1が5.6分から4.2分に、経路2が6.6分から5.0分に、経路4が6.1分が4.6分に減少し、経路1は全経路の中で最も標準偏差の小さい経路となり、最も所要時間の変動の少ない経路となった。経路2、経路4も小さくはないが、他の経路と遜色のない標準偏差の値となった。

ケース1の場合の所要時間、標準偏差は下表のようになる。

表5-5 ケーススタディ条件（斜体が現況条件からの変更箇所）

| | 距離 (km) | 平均所要時間 (分) | 標準偏差 (分) | 参考) 95%所要 時間 (分) |
|----------------|------------|---------------|-------------|---------------------|
| 経路1 (一般道のみ) | 37.2 | 76.2 | 4.2 | 83.1 |
| 経路2 (高速利用) | 39.3 | 85.0 | 5.0 | 93.1 |
| 経路3 (高速利用) | 31.7 | 41.4 | 3.2 | 46.7 |
| 経路4 (一般道のみ) | 36.5 | 77.8 | 4.6 | 85.3 |
| 経路5 (高速利用) | 32.3 | 53.1 | 4.5 | 60.5 |
| 経路6 (高速利用) | 32.0 | 58.6 | 4.8 | 66.4 |

注1) 95%所要時間＝平均所要時間＋1.64×標準偏差

注2) 各経路の通過道路は4－3－3を参照

イ．ケース 2

ケース 2 としては、高速料金が半額になった場合を想定した。ここで、所要時間は現況条件のままとした。経路 2、経路 3、経路 5、経路 6 で有料道路を使用しており、それぞれの経路の一般化費用が減少する。特に、経路 2 での減少はわずかであるが、その他の経路 3、経路 5、経路 6 では、500 円以上の一般化費用が減少するため、経路選択率への大きな影響が想定される。

表 5-6 有料道路料金条件

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|-------------|------|------------------|------------------|------|-----------------|------------------|
| 利用区間 | - | 名港中央 IC・飛島 IC | 豊田南 IC・ 飛島 IC | - | 豊明 IC・飛 島 IC | 名古屋南 IC・飛島 IC |
| 通常料金 (円) | 0 | 300 | 1,450 | 0 | 1,200 | 1,050 |
| 半額料金 (円) | 0 | 150 | 725 | 0 | 600 | 525 |

(2) ケーススタディでの試算結果

ケース1の国道23号を経由する経路1、2、4において、標準偏差が3/4になった場合においては、経路1が90%以上になった。一方で、経路2はそれでも経路選択がされない結果であった。これは、経路2の所要時間が他の経路に比べてかなり大きいためであると考えられる。また、経路4においても一般化費用は減少しているが経路選択率は減少している。これは、経路1では時間内に到着する確率が高まり、経路4も到着する確率は高まっているが相対的な関係で経路1がより傾向性が高くなったことが考えられる。

ケース2の高速料金が半額になった場合においては、伊勢湾岸自動車道を最も長く利用する経路3が80%以上になった。その他の経路は軒並み減少している。ただし、経路6は減少しているものの、減少幅は他の経路に比べて大きくない。

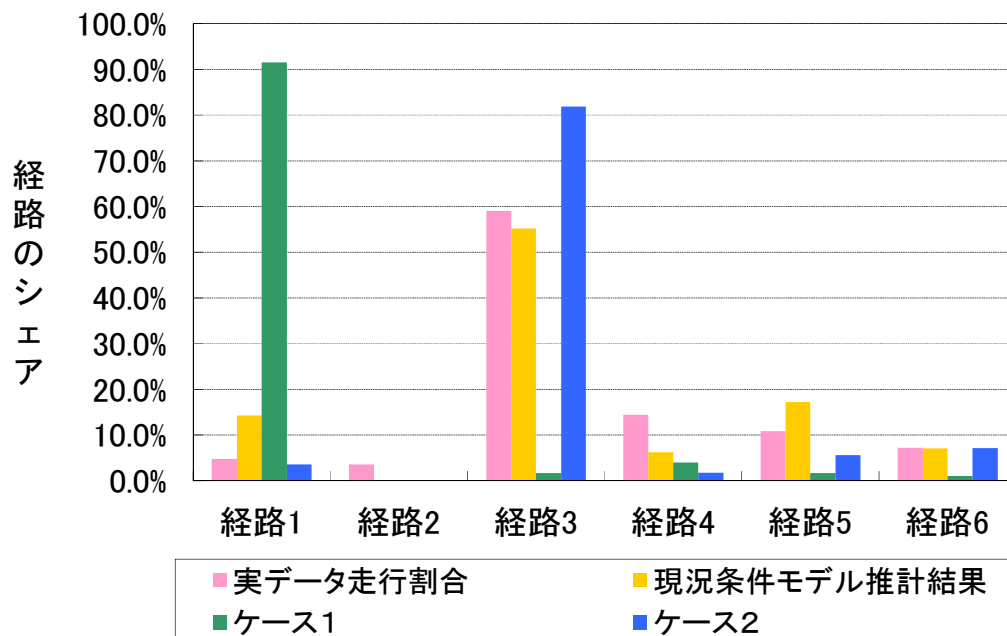


図5-7 ケーススタディ結果

ケース 1 については、経路 1 が 90%を超えて横ばいに近いが、ほぼ 100%とどくような状況である。ただし、経路 4 は一貫して横ばい状況で推移しており、経路 4 も最終的に残る可能性がある。また、経路 2 は初めから経路選択率がほぼゼロになっており、経路 3、経路 5、経路 6 は 1,000 回時点経路選択率が現れているものの、徐々に選択率がゼロに近づいて行っている。

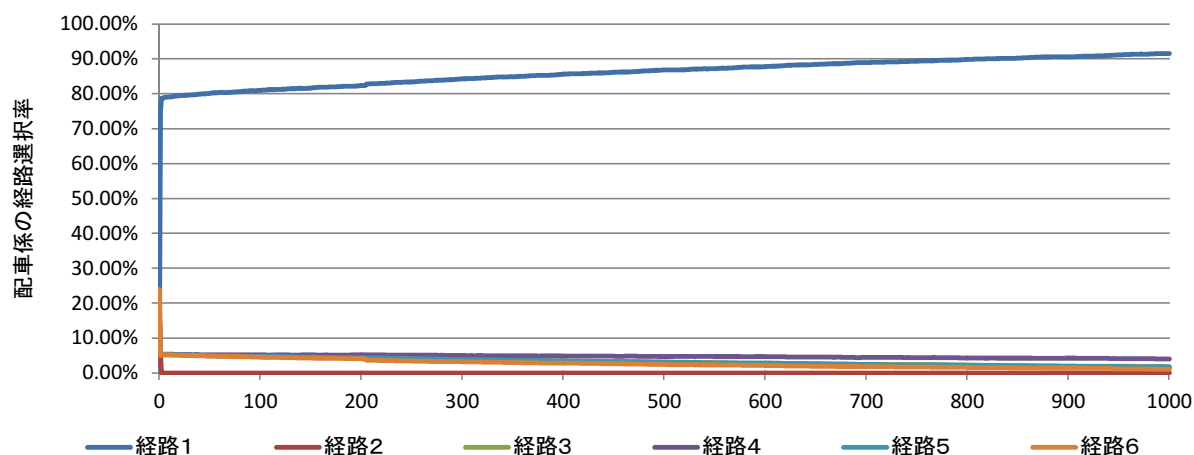


図 5-8 経路選択確率の推移（ケース 1）

ケース 2 では、1000 回目でも収束しておらず、経路 3 の選択率が 90%をこえ、100%になる可能性もある。経路 2 ははじめからほぼゼロとなっており、他の経路は経路 4、経路 1、経路 5、経路 6 の順番で大きな傾きで選択率がゼロに向かっていく。そのため、最終的な選択率は、経路 3 が 100%になる可能性が高いと推測される。

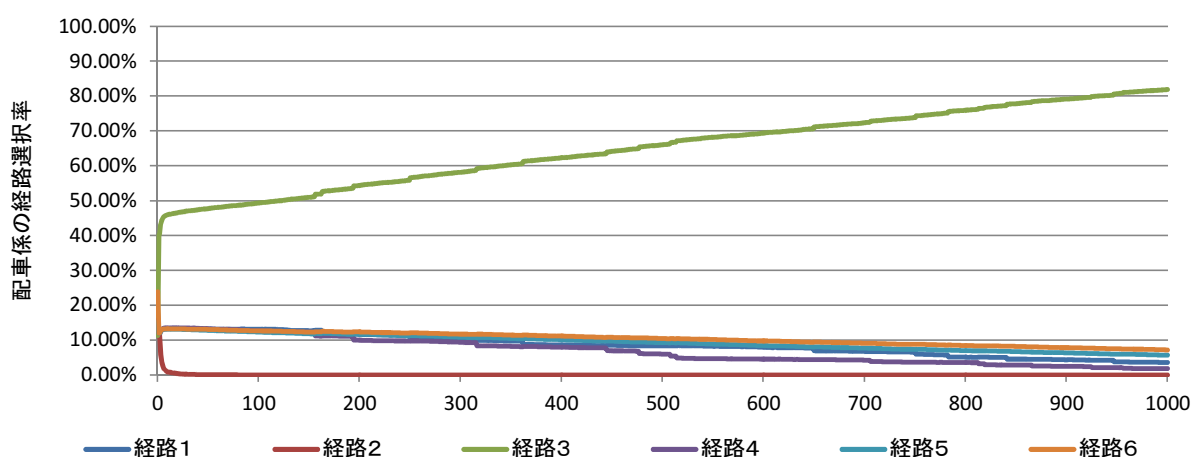


図 5-9 経路選択確率の推移（ケース 2）

5－4 豊田市－飛島村間経路：19～21時台

(1) ケース設定

以下のケーススタディを実施した。

ア. ケース1

国道23号を経由する経路1，2，4において、標準偏差が3／4になった場合を想定し、経路選択への影響を推計した。平均所要時間は変わらないが、所要時間の変動の減少によって95%所要時間は経路1で70.1分から68.6分に、経路2で80.7分から78.6分に、経路4では68.8分から67.1分と減少し、長い所要時間になる確率が減少し、発生する所要時間がより安定している状態となっている。95%所要時間では経路1、経路2、経路4は現況条件でもケース1の状況でも所要時間の長い3経路である。一方、標準偏差を見ると、経路1が3.7分から2.8分に、経路2が5.1分から3.8分に、経路4が4.0分から3.0分に減少し、経路1は全経路の中で2番目に標準偏差の小さい経路となり、次いで経路4が3番目に標準偏差の小さい経路となった。経路2は現況条件では最も標準偏差の大きな経路であったが、経路6の標準偏差よりも小さくなった。

ケース1の場合の所要時間、標準偏差は下表のようになる。

表5-7 ケーススタディ条件（斜体が現況条件からの変更箇所）

| | 距離 (km) | 平均所要時間 (分) | 標準偏差 (分) | 参考) 95%所要 時間 (分) |
|----------------|------------|---------------|-------------|---------------------|
| 経路1 (一般道のみ) | 37.2 | 64.1 | 2.8 | 68.6 |
| 経路2 (高速利用) | 39.3 | 72.3 | 3.8 | 78.6 |
| 経路3 (高速利用) | 31.7 | 37.3 | 2.7 | 41.8 |
| 経路4 (一般道のみ) | 36.5 | 62.2 | 3.0 | 67.1 |
| 経路5 (高速利用) | 32.3 | 44.7 | 3.1 | 49.8 |
| 経路6 (高速利用) | 32.0 | 50.5 | 4.5 | 57.9 |

注1) 95%所要時間＝平均所要時間＋1.64×標準偏差

注2) 各経路の通過道路は4－3－3を参照

イ．ケース 2

ケース 2 としては、高速料金が半額になった場合を想定した。ここで、所要時間は現況条件のままとした。経路 2、経路 3、経路 5、経路 6 で有料道路を使用しており、それぞれの経路の一般化費用が減少する。特に、経路 2 での減少はわずかであるが、その他の経路 3、経路 5、経路 6 では、500 円以上の一般化費用が減少するため、経路選択率への大きな影響が想定される。

表 5-8 有料道路料金条件

| | 経路 1 | 経路 2 | 経路 3 | 経路 4 | 経路 5 | 経路 6 |
|-------------|------|------------------|------------------|------|-----------------|------------------|
| 利用区間 | - | 名港中央 IC・飛島 IC | 豊田南 IC・ 飛島 IC | - | 豊明 IC・飛 島 IC | 名古屋南 IC・飛島 IC |
| 通常料金 (円) | 0 | 300 | 1,450 | 0 | 1,200 | 1,050 |
| 半額料金 (円) | 0 | 150 | 725 | 0 | 600 | 525 |

(2) ケーススタディでの試算結果

国道23号を経由する経路1、経路2、経路4における標準偏差が3/4になった場合においては、経路3の経路選択率が減少し、経路1、経路4の経路選択率が増加した。経路2においては、所要時間が長く、標準偏差が短縮されても経路選択率が現れなかった。

有料道路料金が1/2になった場合においては、伊勢湾岸道路を利用する経路5、経路6の経路選択率が増加した。経路5は若干経路選択率が減少しているが、これは、高速道路料金が半額になったことで、経路3と経路5、6の料金差が小さくなり、利得差や傾向性の差も小さくなったためであると考えられる。経路2は現れなかったが、これは経路2の平均所要時間と標準偏差が大きく、負荷されている料金も小さいために、利得や傾向性が向上しなかったためであると考えられる。有料道路料金を半額にした結果、有料道路を利用しない経路1、4はほぼゼロになった。

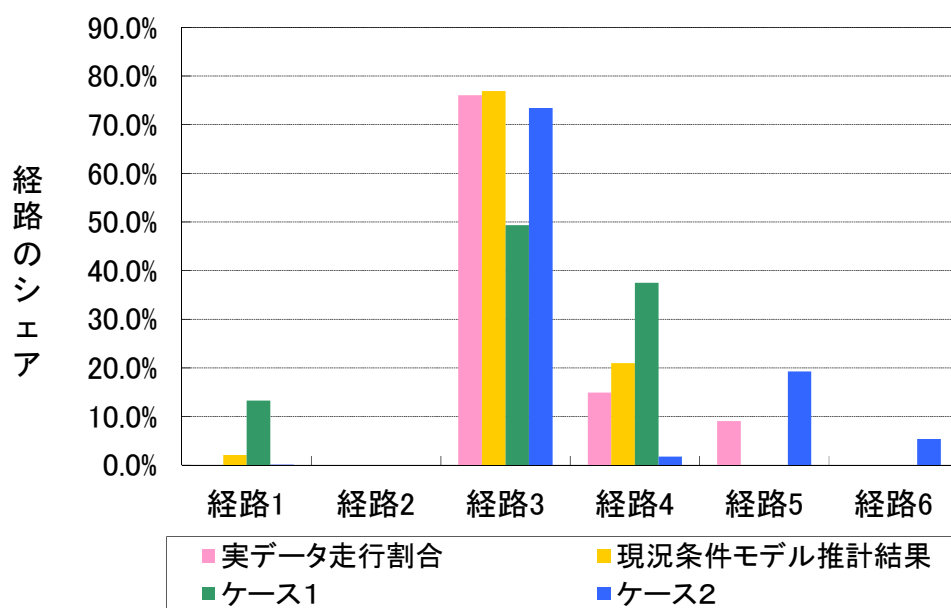


図5-10 ケーススタディ結果

経路選択率の推移をみると、ケース 1 では、経路 1 と経路 3、経路 4 のみが残る結果となった。経路 1 はほぼ横ばいで 15%程度を推移している。経路 3 と経路 4 は 800 回以降に選択率が近付いている。経路 3 と経路 4 の選択率が同程度になるような経路選択率推移をたどっているが、安定的な推移でないために、今後の推移が予測しづらく、逆転する可能性も秘めていると考えられる。経路 3 は有料道路を利用する経路、経路 4 は有料道路を利用しない一般道路のみの経路と対比的であり、その点でも今後の推移の予測が難しい。

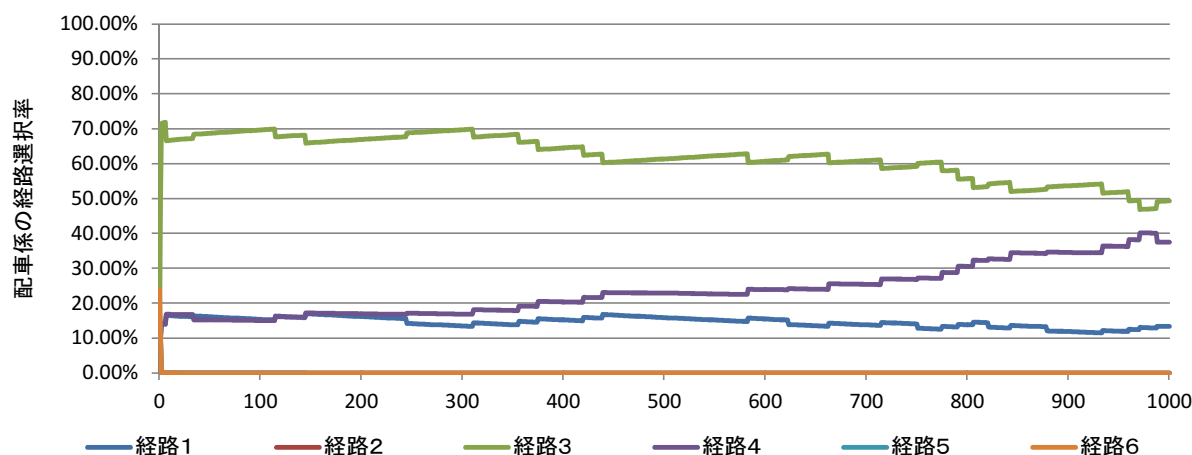


図 5-11 経路選択確率の推移（ケース 1）

ケース 2 では、経路 3 が 70% 超えでほぼ横ばいとなり、経路 5 は 1,000 回目で 20% 程度になった。経路 6 は 1000 回目でも減少傾向であるが、5% 程度の選択確率となっている。そのため、今後の傾向としては、経路 4 と経路 6 の選択率がゼロになり、経路 3 と経路 5、つまり、有料道路を最も長い区間利用する経路と 2 番目に長い区間利用する経路のみが残るものと考えられる。

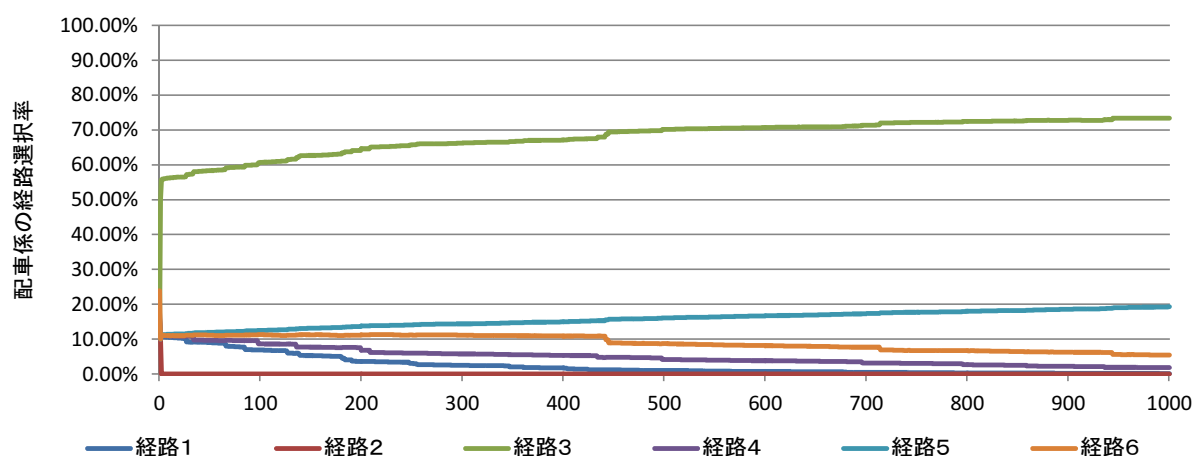


図 5-12 経路選択確率の推移（ケース 2）

6. 具体的な道路施策での平均所要時間や時間信頼性の向上に伴う経路選択行動への影響分析

6-1 ミクロシミュレーションを含めたモデルの適用

ミクロシミュレーションを用いて、個別施策による所要時間分布の変化を推計し、推計結果をモデルの入力値とすることで、個別施策による経路選択行動への影響分析を実施した。

豊田市・田原市のモデルにおいて、道路施策が実施された場合の経路選択行動の変化を推計した。

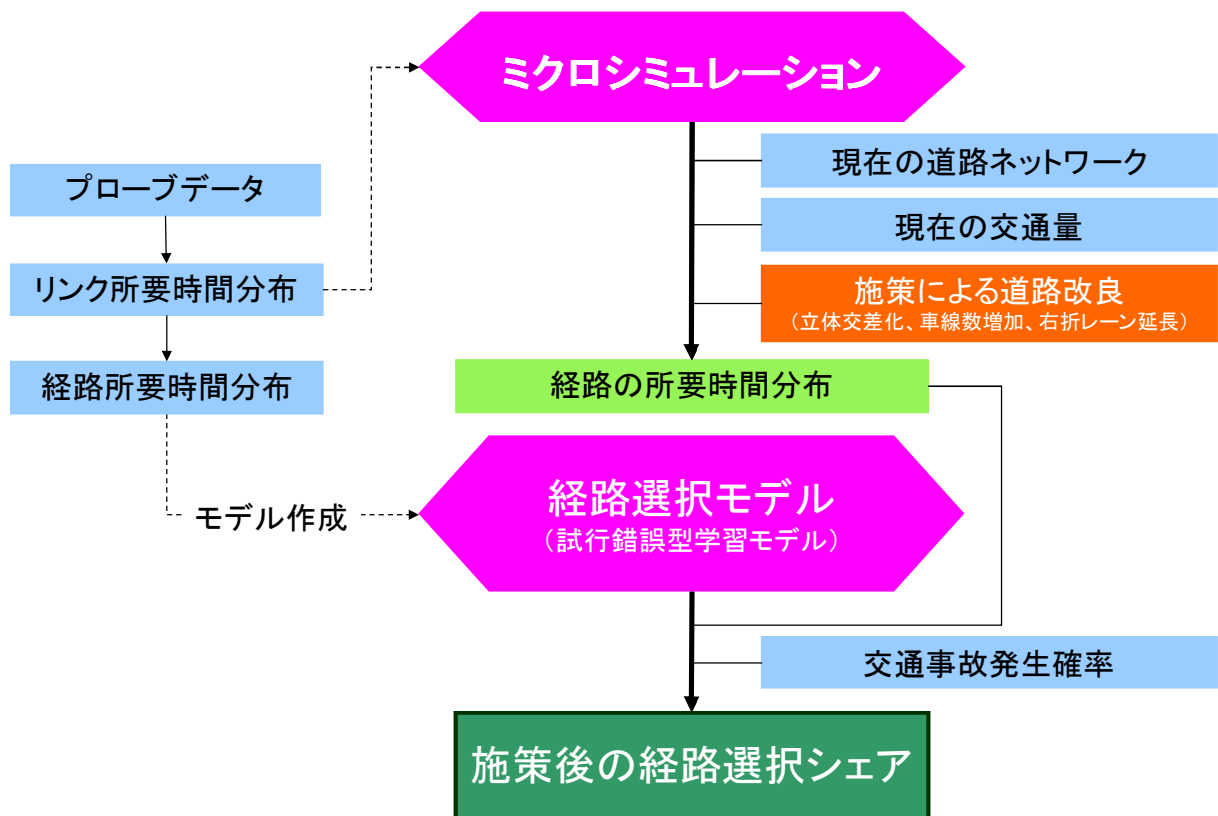


図 6-1 ミクロシミュレーションを含めた施策による経路選択率推計手順

6-2 ミクロシミュレーションの概要

6-2-1 ミクロシミュレーションの特徴

交通流ミクロシミュレーションは、車1台単位の挙動を表現することも可能であり、交通渋滞等の現実の交通現象をシミュレーションによって表現することができる。そのため、より詳細な計画を検討できる道路計画策定支援ツールとして位置づけられている。

本研究では、ミクロシミュレーションパッケージである VISSIM を用いて道路改良による平均所要時間、標準偏差の変化を推計した。

6-2-2 VISSIM の特徴

VISSIM は都市交通と公共交通機関の運行とをモデル化することにより開発したミクロ、タイムステップ、交通挙動のシミュレーションモデルである。このプログラムは、車線形状、交通構成、交通信号、停留所などによって制約される自動車交通と公共交通の運行とを解析することができる。このように VISSIM は、輸送工学に基づく様々な代替案を評価するツールとして、また効果の計画的な計測のツールとして有用である。

VISSIM は 自動車交通の行動モデルとして下記の特徴がある。

- ・ VISSIM では、WIEDEMANN が 1974 年に完成させた精神心理学によるドライバーの行動モデルを使用している。「より速い速度で車を走らせているドライバーは、自分より低速の車両を認識すると、自分の車を減速させ始める。」というのがこのモデルの基本概念である。速い方のドライバーは相手の速度を正確に知ることはできないので、前の車両の速度以下まで速度を落とし、その後より正確な速度を知って少し加速を始める。
- ・ 個々のドライバーの行動特性を内包した速度と間隔は確率分布をすると仮定している。このモデルの開発はドイツのカールスルーエ工業大学で行われた、数多くの実測を通して導かれた。
- ・ VISSIM の交通シミュレーターでは、多車線道路上でドライバーが、先行する2台の車両に追従するだけでなく隣接する走行車線上の隣り合った2車両をも認識することができる。
- ・ 信号への接近の際には、停止線前 100 メートルの距離からドライバーにとって高い注意を喚起する仕組みとなっている。
- ・ いろいろなタイプの信号制御 ロジックに適用することができる。内蔵されている時間を固定した信号制御機能に加えて、実際に使われている様々な感応式信号制御も表現でき

る。

- ・ 交差点を信号制御するか、一時停止でコントロールするか、ロータリーにするか、立体交差するインターチェンジにするかを容易に比較することができる。
- ・ 中規模までの都市であれば、内蔵されている動的配分モデルを用いて、さまざまな信号の影響や迂回の可能性によって左右される経路選択の答えを出すことができる。

6-3 ミクロシミュレーションの実行

- ・八帖交差点立体化、京次西交差点立体化、宮下交差点右折レーン延長、豊川橋4車線化による平均旅行速度、標準偏差の変化推計
- ・対策周辺箇所のみでミクロシミュレーションによる分析を実施
- ・交通量は道路交通センサスの7～9時台の平均値を用いた

(1) 対策箇所と対策内容

想定する施策が行われる位置は下図の箇所である。

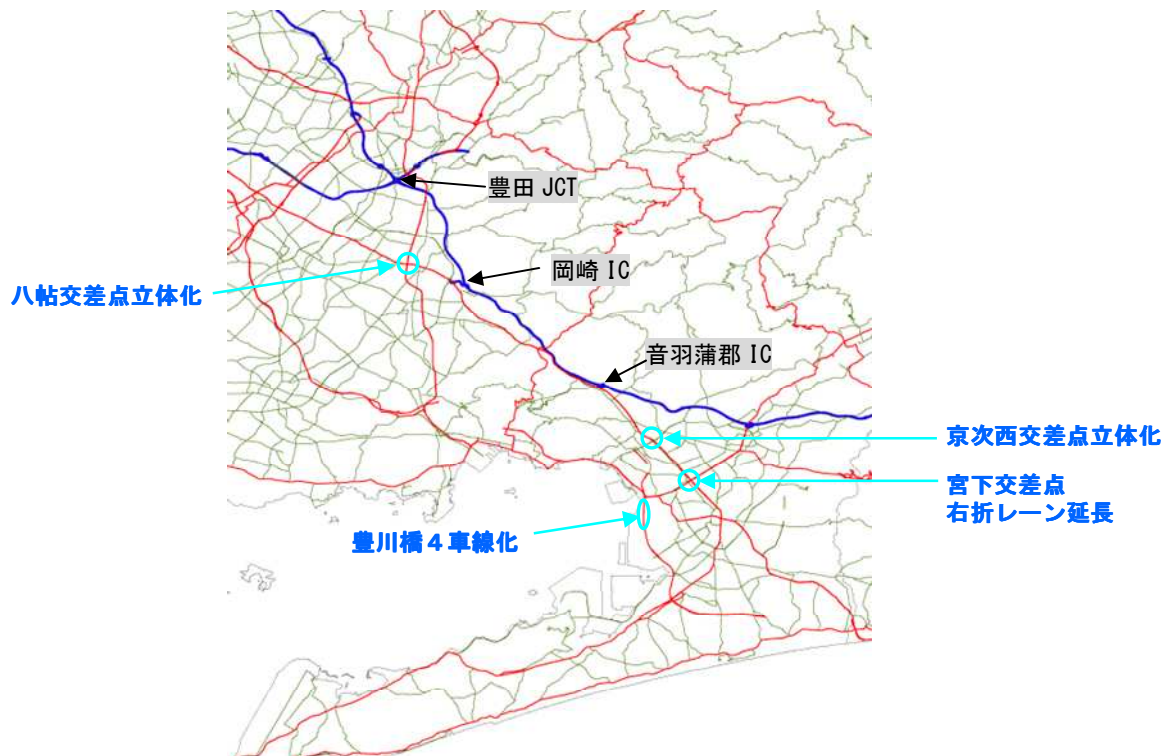


図 6-2 想定する施策実施箇所

表 6-1 想定する施策概要

| 施策 | 施策概要 |
|-----------------------------------|--|
| ①八帖立体交差化 | 八帖交差点の国道248号が1号に対してアンダーパス。 |
| ②京次西交差点（交差県道立体化） | 京次西交差点の県道（4車線）を立体交差化。 |
| ③宮下交差点改良（右折レーン延長） | 国道1号名古屋方面から国道247号への右折レーン長の延長。 |
| ③豊川橋4車線化 （豊川橋北交差点から豊川橋南交差点の区間） | 豊川橋北交差点から豊川橋南交差点の区間における、4車線化（上り2車線、下り2車線）。 |

ア．八帖交差点

a．箇所図

八帖交差点は、国道 248 号と国道 1 号が交差する交差点である。



図 6-3 八帖交差点箇所図

b．対策内容

国道 248 号が 1 号に対してアンダーパスをすることで立体交差化し、渋滞緩和を図る。

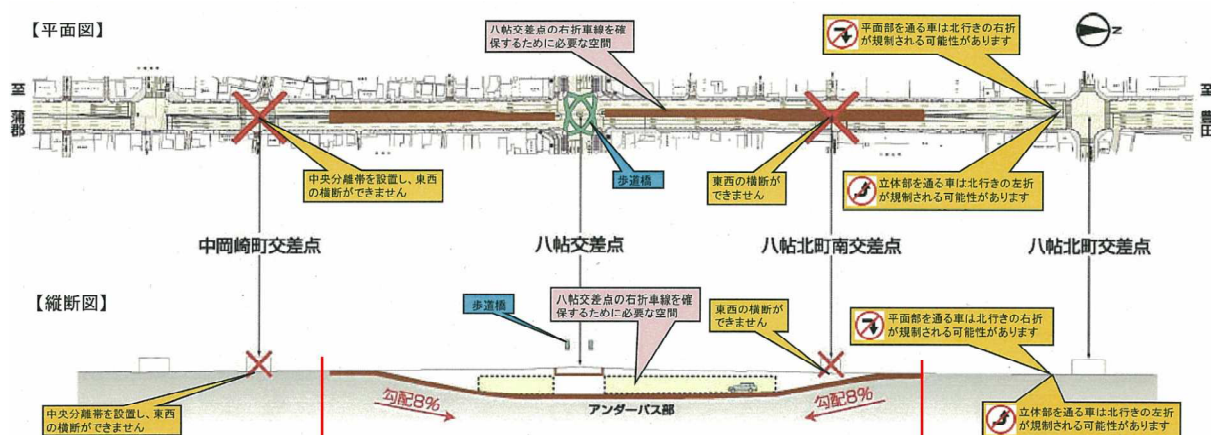


図 6-4 八帖交差点での対策内容

イ．京次西交差点

a．箇所図



図 6-5 京次西交差点箇所図

b．対策内容

県道 31 号が国道 1 号をオーバーパスすることにより立体交差化し、渋滞緩和を図る。



図 6-6 京次西交差点での対策内容

ウ．宮下交差点

a．箇所図



図 6-7 箇所図

b．対策内容

国道 1 号名古屋方面から国道 247 号への右折レーン長を延長し、右折車による直進車への影響を緩和する。ここでは、右折レーン長を倍にした場合を想定した。



図 6-8 宮下交差点での対策内容

エ. 豊川橋

a. 箇所図



図 6-9 豊川橋箇所図

b. 対策内容

豊川橋北交差点から豊川橋南交差点の区間において4車線化(上り2車線、下り2車線)を行う。

(2) シミュレーション設定

ミクロシミュレーションを実行するためには、流入する交通量や交差点での信号制御の方法などいくつかの設定を行う必要がある。以下に、ミクロシミュレーションを実施する上で必要な、交通量、道路線形・交差点形状、信号制御、所要時間・旅行速度データの設定方法を示す。

ア. 交通量

H17 年道路交通センサス一般交通量データを用いて、各方向の交通量を設定した。

表 6・2 方向別の交通量設定（7～9 時台の合計）

| | 方向 | 交通量 | | |
|--------|----|-------|------|-------|
| | | 乗用車 | 小型貨物 | 普通貨物 |
| 八帖交差点 | 東 | 3,410 | 728 | 939 |
| | 西 | 2,061 | 594 | 1,119 |
| | 南 | 2,114 | 403 | 272 |
| | 北 | 2,660 | 684 | 420 |
| 京次西交差点 | 東 | 661 | 126 | 146 |
| | 西 | 1,236 | 262 | 381 |
| | 南 | 2,688 | 778 | 1,021 |
| | 北 | 1,978 | 537 | 859 |
| 宮下交差点 | 東 | 1,749 | 641 | 561 |
| | 西 | 822 | 222 | 300 |
| | 南 | 2,688 | 778 | 1,021 |
| | 北 | 1,978 | 537 | 859 |
| 豊川橋 | 南 | 1,102 | 357 | 967 |
| | 北 | 1,303 | 497 | 692 |

イ．道路線形・交差点形状

航空写真をもとに道路線形および交差点形状を作成した。以下に作成した箇所航空写真を示す。

a．八帖交差点

八帖交差点は、国道 1 号と国道 248 号が交差する三河地方でもとりわけ多くの交通が集中する交差点であり、慢性的な渋滞が発生している。



図 6-10 八帖交差点の道路線形

b．京次西交差点

京次西交差点は国道 1 号と県道 31 号が交差する交差点であり、1 日を通して渋滞しており特に朝夕は渋滞が激しい。



図 6-11 京次西交差点の道路線形

c. 宮下交差点

宮下交差点は国道 1 号と国道 151 号、247 号が交差する交差点であり、宮下交差点から国道 151 号を進むと豊川 IC に到達する。



図 6-12 宮下交差点の道路線形

d. 豊川橋北交差点

国道 23 号と国道 247 号が交差する交差点であり、H17 年時点で愛知県の第 4 次渋滞対策プログラムの主要渋滞ポイントに登録されていた箇所である。

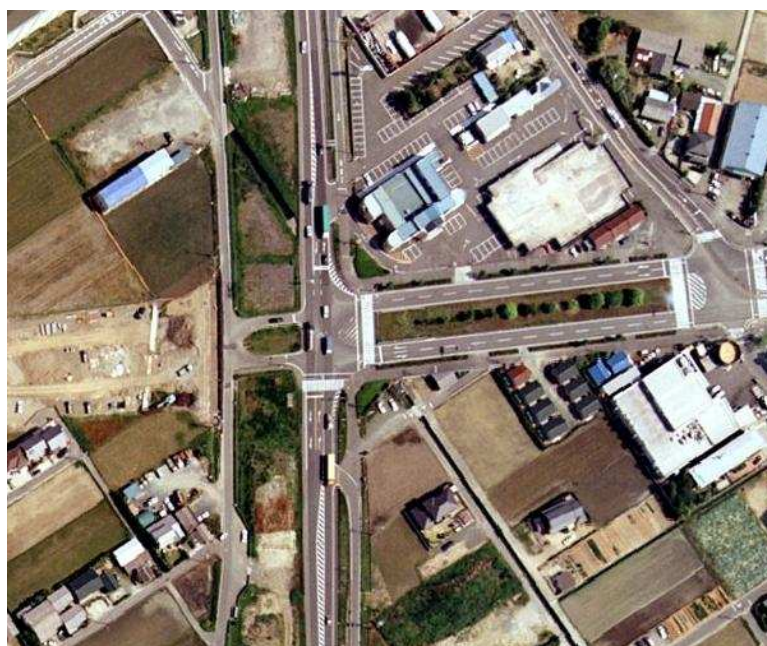


図 6-13 豊川橋北交差点の道路線形

e. 豊川橋南交差点

国道 23 号と市道が交差する交差点であり、H17 年時点で愛知県の第 4 次渋滞対策プログラムの主要渋滞ポイントに登録されていた箇所である。



図 6-14 豊川橋南交差点の道路線形

ウ．信号制御データ

主要な信号交差点については、実際の信号サイクルを元に信号サイクルデータ（サイクル長、各方向の青現示時間、黄色現示時間、右折現示時間、全赤時間灯）を設定し、その他の信号差点については右折現示のない、宮下北と同じ信号サイクルデータを適用した。以下の赤丸の信号交差点において実際の信号サイクルデータを適用した。



図 6-15 信号制御データの設定箇所

エ. 所要時間・旅行速度データ

現況再現のための所要時間・旅行速度データはプローブデータから抽出した。現況再現は、豊田-田原モデルで設定した経路での流動について行った。下図の矢印の流動についての旅行速度をプローブデータより集計した。



図 6-16 現況再現の確認方向

(3) 現況再現の確認

(2) エの方法で設定した平均旅行速度をマイクロシミュレーションによる旅行速度と比較し、現況再現を確認した。京次西交差点で北から南に抜ける流動において旅行速度に若干の差はあるが、おおむねプローブデータから得られた旅行速度に近い数値となった。

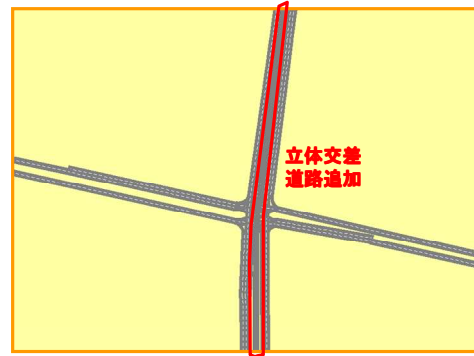
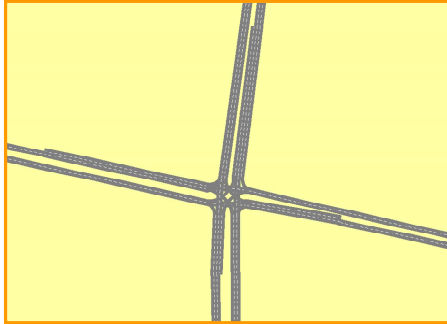
表 6・3 実際とマイクロシミュレーションの旅行速度

| 地点 | 方向 | プローブデータによる 実際の平均旅行速度 (km/h) | マイクロシミュレーション による旅行速度(km/h) |
|-----|-----|-----------------------------------|-------------------------------|
| 八帖 | 北⇒南 | 12.2 | 11.0 |
| 京次西 | 北⇒南 | 18.5 | 14.2 |
| 京次西 | 北⇒西 | 12.8 | 11.0 |
| 宮下 | 北⇒南 | 16.2 | 17.7 |
| 豊川橋 | 北⇒南 | 22.8 | 23.6 |

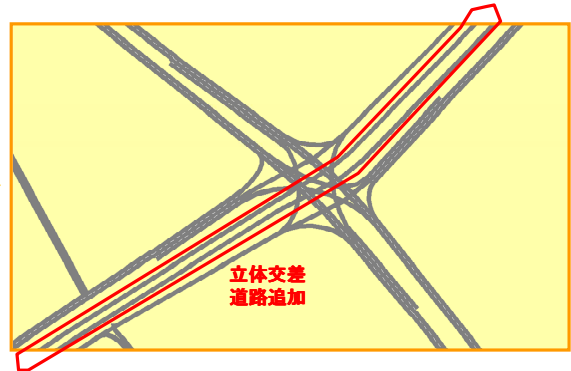
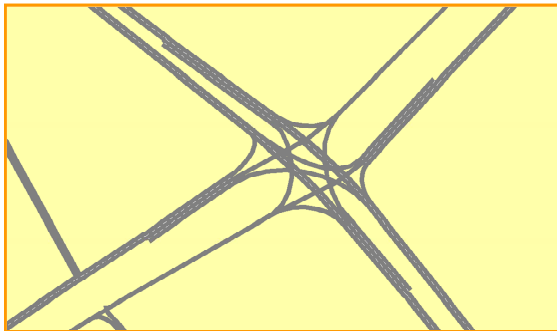
(4) ミクロシミュレーションへの対策の設定

(1) で示した対策箇所における対策内容を VISSIM において再現したものが下図である。左側が (2) イで示した現状の道路線形・交差点形状を VISSIM で表現したネットワークであり、右側の赤で示した箇所が現状の道路線形・交差点形状に対して対策を反映したネットワークである。

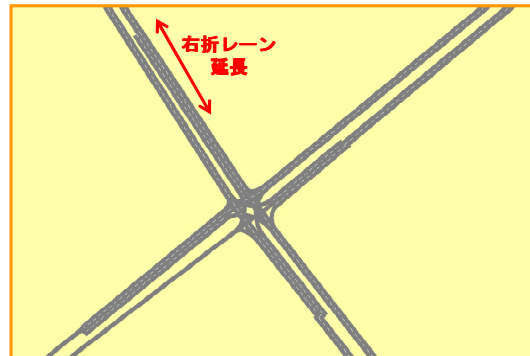
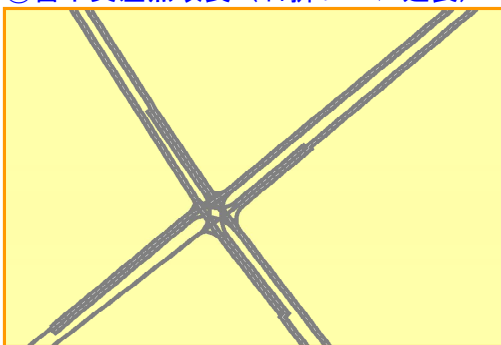
①八帖立体交差化



②京次西交差点 (交差県道立体化)



③宮下交差点改良 (右折レーン延長)



④豊川橋4車線化

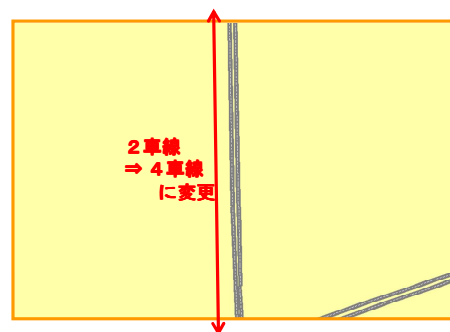
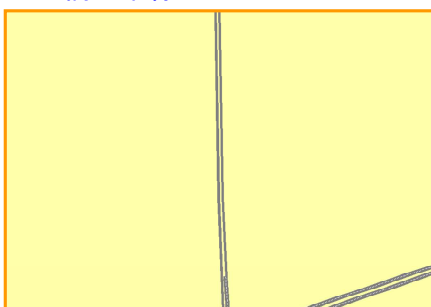


図 6-17 想定する施策のミクロシミュレーション上での反映方法

(5) 所要時間、標準偏差変化の結果

以下には、各箇所でのモデルに関する通過方法の通過のための所要時間および標準偏差の変化を示す。

1) 八帖立体交差化による所要時間の変化

貨物車の経路に関する、国道 248 号を南下する経路の、国道 248 号の立体化による所要時間変化を計算した。立体化することによって、国道 248 号を南下する経路の所要時間、標準偏差ともに大きく低下した。これは、信号交差点による停止やそれにとまなう渋滞の減少によって旅行速度が大幅に上昇したものと考えられる。

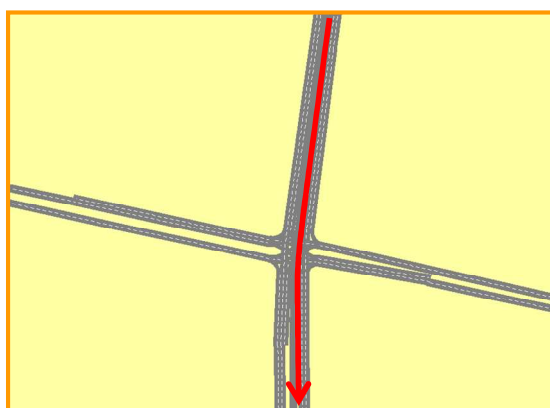


図 6-18 所要時間と標準偏差の計算区間（八帖立体交差化）

表 6-4 所要時間と標準偏差の結果（八帖立体交差化）

| | 距離(m) | 平均所要時間 (s) | 速度(km/h) | 標準偏差(s) |
|-------|-------|------------|----------|---------|
| 対策前 | 1,115 | 363.4 | 11.0 | 144.1 |
| 対策後 | 1,115 | 152.0 | 26.4 | 17.5 |
| 差 (s) | | 211.4 | | 126.6 |
| 差(分) | | 3.5 | | 2.1 |

2) 京次西交差点（交差県道立体化）による所要時間の変化

ア. 南下する経路の所要時間の変化

貨物車の経路に関する、国道 1 号を南下する経路の、交差する県道の立体化による所要時間変化を計算した。しかし、平均所要時間として約 10 秒変化するだけでほとんど変化がなかった。これは、立体化する道路が交差する県道側であることから、国道 1 号の所要時間に対しては影響がなかったと考えられる。県道の立体化によって信号現示の設定が変更され、国道 1 号への青時間の割り当てが多くなれば所要時間、標準偏差ともに小さくなるものと考えられる。

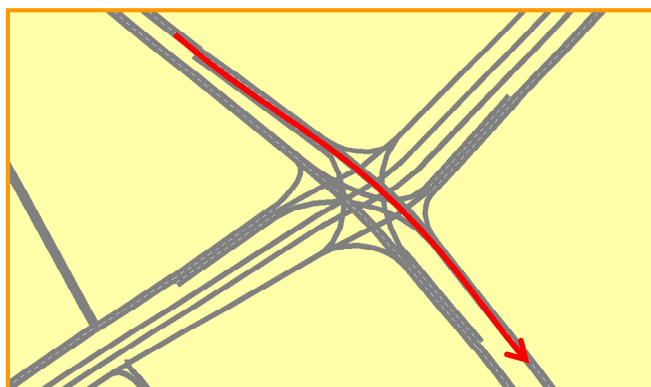


図 6-19 所要時間と標準偏差の計算区間（京次西交差点（南下経路））

表 6-5 所要時間と標準偏差の結果（京次西交差点（南下経路））

| | 距離(m) | 平均所要時間 (s) | 速度(km/h) | 標準偏差(s) |
|-------|-------|------------|----------|---------|
| 対策前 | 1,820 | 462 | 14.2 | 36.1 |
| 対策後 | 1,820 | 452 | 14.5 | 27.3 |
| 差 (s) | | 9.9 | | 8.8 |
| 差(分) | | 0.2 | | 0.1 |

イ．西に折れる経路の所要時間の変化

貨物車の経路に関係する、国道 1 号から右折して県道入る経路の、交差する県道の立体化による所要時間変化を計算した。しかし、平均所要時間として約 1 分減少する効果が見られた。これは、県道側の立体交差により県道を直進する車は立体交差の道路を利用することで、右折後に侵入する道路の交通量が減少し、旅行速度が上昇しているものと考えられる。

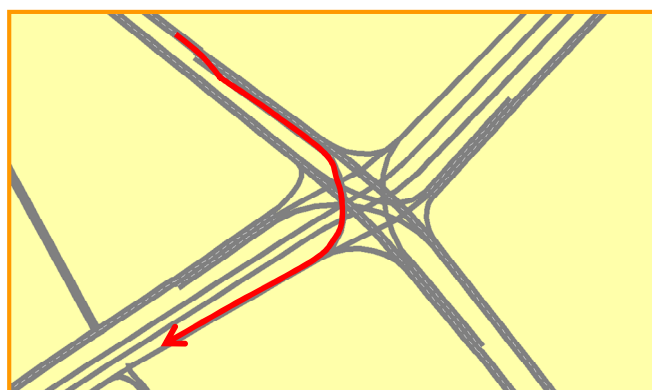


図 6-20 所要時間と標準偏差の計算区間（京次西交差点（西経路））

表 6-6 所要時間と標準偏差の結果（京次西交差点（西経路））

| | 距離(m) | 平均所要時間 (s) | 速度(km/h) | 標準偏差(s) |
|-------|-------|------------|----------|---------|
| 対策前 | 1,800 | 591 | 11.0 | 61.1 |
| 対策後 | 1,800 | 537 | 12.1 | 47.9 |
| 差 (s) | | 53.9 | | 13.2 |
| 差(分) | | 0.9 | | 0.2 |

3) 宮下交差点改良（右折レーン延長）による所要時間の変化

貨物車の経路に関する、国道 1 号を南下する経路の、右折レーンの設置による直進車への影響は限定的であると計算された。

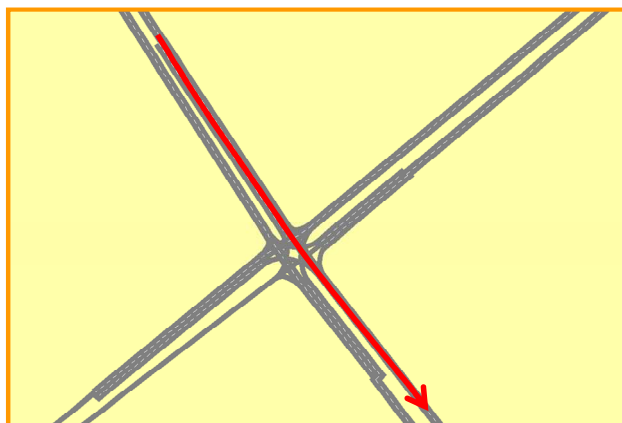


図 6-21 所要時間と標準偏差の計算区間（宮下交差点）

表 6-7 所要時間と標準偏差の結果（宮下交差点）

| | 距離(m) | 平均所要時間 (s) | 速度(km/h) | 標準偏差(s) |
|-------|-------|------------|----------|---------|
| 対策前 | 1,000 | 203.0 | 17.7 | 25.9 |
| 対策後 | 1,000 | 200.0 | 18.0 | 25.3 |
| 差 (s) | | 3.0 | | 0.6 |
| 差(分) | | 0.1 | | 0.0 |

4) 豊川橋 4 車線化による所要時間の変化

貨物車の経路に関する、国道 23 号を南下する経路の所要時間の変化を計算した。南下する側は 1 車線から 2 車線となるため、旅行速度の上昇効果が見られた。しかし、元々の旅行速度も信号交差点での停止の影響も考えるとそれほど低くは無いため、旅行速度の上昇効果は限定的であったと考えられる。

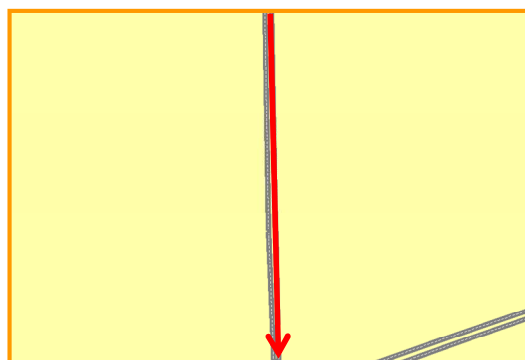


図 6-22 所要時間と標準偏差の計算区間（豊川橋）

表 6-8 所要時間と標準偏差の結果（豊川橋）

| | 距離(m) | 平均所要時間 (s) | 速度(km/h) | 標準偏差(s) |
|-------|-------|------------|----------|---------|
| 対策前 | 2,555 | 389.2 | 23.6 | 23.4 |
| 対策後 | 2,555 | 381.6 | 24.1 | 22.6 |
| 差 (s) | | 7.6 | | 0.8 |
| 差(分) | | 0.1 | | 0.0 |

6-4 ミクロシミュレーション結果を用いた経路選択行動分析

国道1号と国道23号における渋滞分析結果を基に、渋滞解消のための短期施策メニューについて、定時性の向上等の効果を検証した。

(1) 分析方法概要

6-3で得られたミクロシミュレーション結果をもとに、以下のケースについて経路選択率の変化を推計する。

ケース1：八帖立体交差化事業によって、八帖交差点を通過する経路5の平均所要時間が約3.5分、標準偏差が約2.1分短縮したケースを想定

ケース2：宮下交差点改良事業によって、宮下交差点を南下する経路3の平均所要時間が約0.1分短縮したケースを想定

ケース3：豊川橋4車線化事業によって、豊川橋を通過する経路の平均所要時間が約0.1分短縮したケースを想定

ケース4：京次西交差点立体化事業によって、京次西交差点を南下する経路1,3,4,6の平均所要時間が約0.2分、標準偏差が約0.1分短縮し、西に折れる経路2の平均所要時間が約0.9分、標準偏差が約0.2分短縮したケースを想定

(2) 分析結果

(1) の条件をモデルのインプット値として経路選択率を推計した。

1) ケース 1 の経路選択率推計結果

経路 5 の平均所要時間と標準偏差の短縮の結果経路 5 の経路選択確率が大きく上昇する結果となった。経路 2 の選択率が大きく減少する一方、経路 4 の選択率が上昇している。これは、次ページの選択率の推移をみるとわかるが、850 回あたりで経路 2 と経路 4 の選択率に大きな変化があり、事故の影響で選択率の大きな変化が起こっているのではないかと考えられる。そのため、今後状況が安定すれば経路 2 と経路 4 の関係は逆転し、経路 2 の大幅な減少は緩和され、経路 4 の選択率も 1,000 回目の選択率よりも小さくなるものと推測される。また、わずかに現れていた経路 1 も減少している。

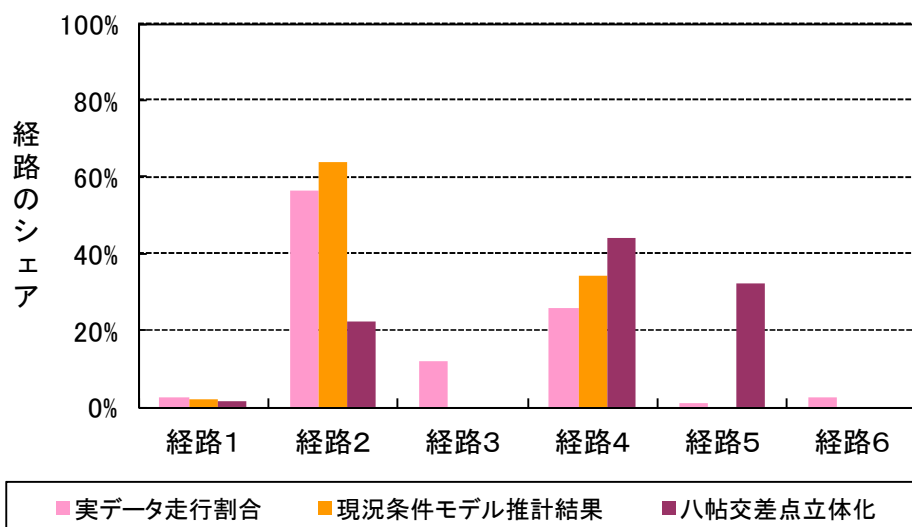


図 6-23 ケース 1 の経路選択率推計結果

経路 5 の平均所要時間と標準偏差が短縮されたため、経路 2 と経路 4 と経路 5 のみが残る結果となった。3 つの経路は 200 回目から 400 回目では経路 2、経路 5、経路 4 の順番であったが、500 回目から 800 回目では経路 2、経路 4、経路 5 の順番となり、900 回目以降では経路 4、経路 5、経路 2 の順番となった。850 回以降に経路 2 と経路 4 の選択率が大きく変化している。これは、障害発生の影響であると考えられることから、さらに時間を経て、状況が安定してくると、経路 2 と経路 4 の関係、さらには経路 5 との関係性にも変化があることが想定される。おそらくは、500 回から 800 回の間の関係に近いものになるのではないかと想定される。3 つの経路の選択確率がゼロになることは考えづらいが、いずれにしても 3 経路の選択率がさらに変化することは十分考えられる。

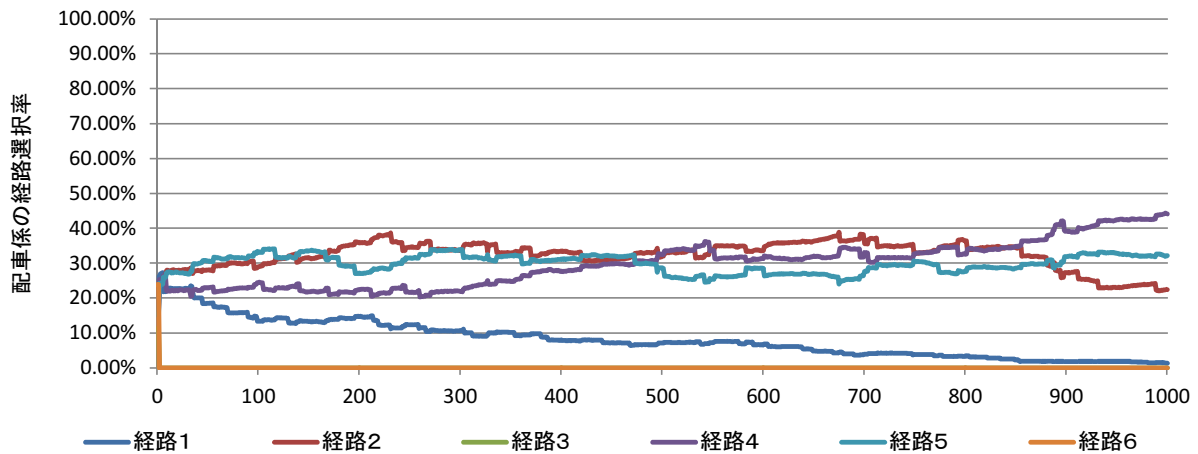


図 6-24 経路選択確率の推移（ケース 1）

2) ケース 2 の経路選択率推計結果

ケース 2 においては、施策による平均所要時間、標準偏差の変化が小さいため、経路選択率に変化がない結果となった。想定している施策効果が、宮下交差点改良事業によって、宮下交差点を南下する経路 3 の平均所要時間が約 0.1 分短縮したケースを想定しているためである。施策による平均所要時間と標準偏差の短縮幅が小さいのは、対策は右折レーンの設置であり、施策では、右折レーンの設置によって、右折交通による直進交通の遅れの緩和効果を図るものであるが、交差点の混雑や信号交差点での停止の影響がより大きかったために、右折レーンの設置効果は限定的であったものと推測される。

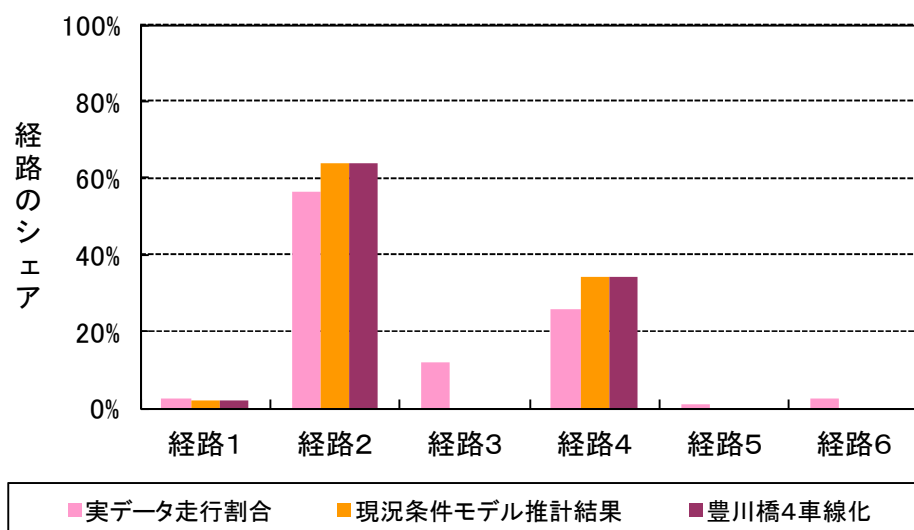


図 6-25 ケース 2 の経路選択率推計結果

施策による平均旅行速度、標準偏差の変化が小さいため、経路選択確率の推移も、現状条件での推移と同じ推移であった。経路3と経路6の選択率は初めの回の頃からほぼゼロであり、300回前後で経路5がゼロになり、経路5が緩やかに選択率ゼロに向かって推移している。したがって、経路2および経路4のみが残る結果になると考えられる。

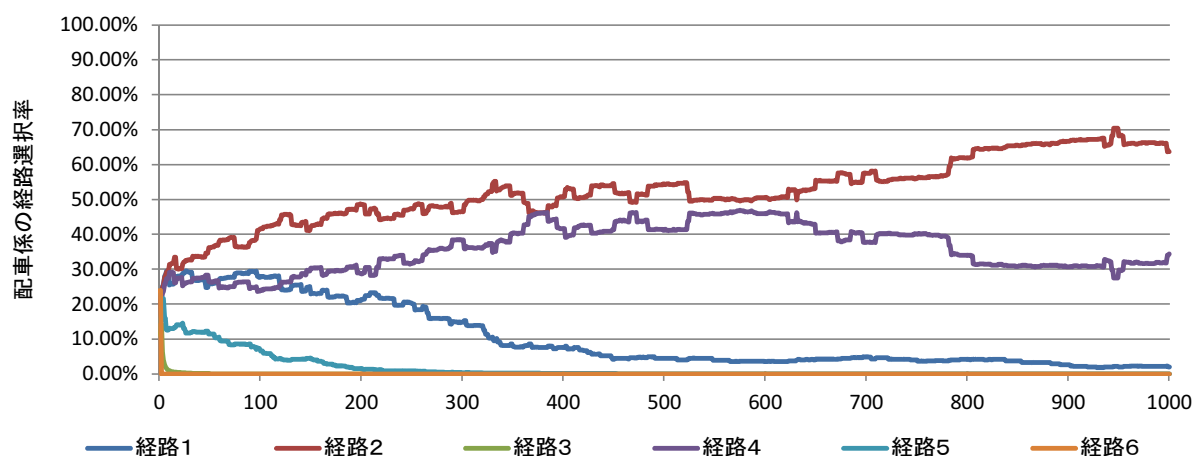


図 6-26 経路選択確率の推移（ケース 2）

3) ケース 3 の経路選択率推計結果

ケース 3 においては、ケース 2 と同様施策による平均所要時間、標準偏差の変化が小さいため、経路選択率に変化がない結果となった。豊川橋 4 車線化事業によって、豊川橋を通過する経路の平均所要時間が約 0.1 分短縮したケースを想定しているが、元々の平均旅行速度がシミュレーション結果で 23.6km/h であり、それほど醜い混雑が発生しているわけではなかったために、4 車線化の対策自体の所要時間短縮効果が限定的であったと考えられる。

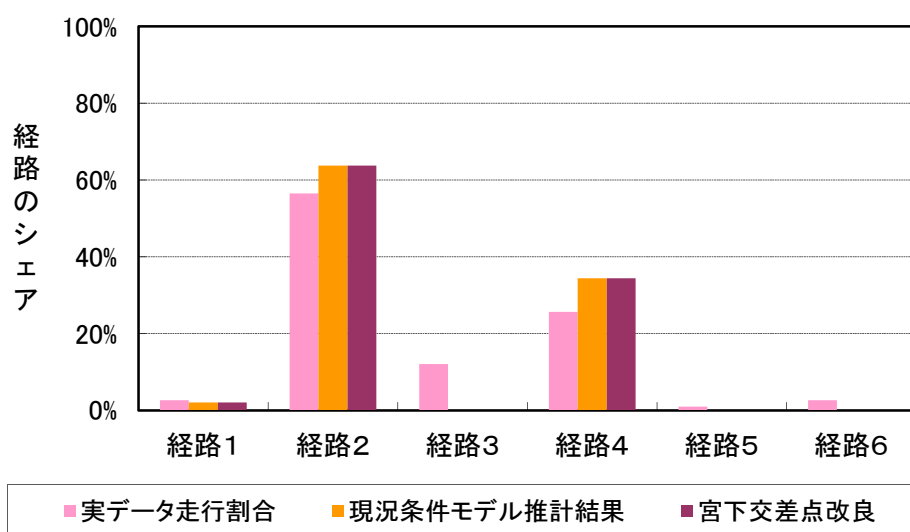


図 6-27 ケース 3 の経路選択率推計結果

施策による平均旅行速度、標準偏差の変化が小さいため、経路選択確率の推移も、ケース 2 と同様、現状条件での推移と同じ推移であった。

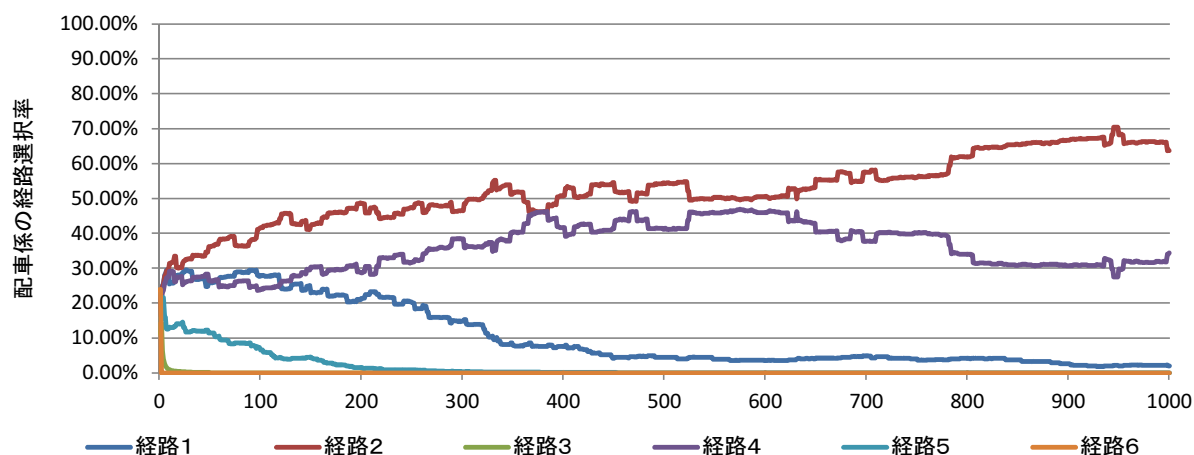


図 6-28 経路選択確率の推移（ケース 3）

4) ケース 4 の経路選択率推計結果

経路 2 の平均所要時間が 0.9 分、標準偏差が 0.1 分短縮したことにより、経路 2 の経路選択率が上昇し、経路 4 の経路選択率が減少する結果となった。経路 1 も上昇している。経路 1、経路 3、経路 4、経路 6 の平均所要時間が約 0.2 分、標準偏差が約 0.1 分とわずかに短縮しているが、経路 1 の経路選択率がわずかに上昇したのみで、経路 3、6 には影響がなく、経路 4 は経路選択率が低下した。これは、経路 2 の平均所要時間と標準偏差の上昇によって相対的に傾向性が低下したものと考えられる。

経路 2 の平均所要時間がより短縮したのは、京次西交差点の立体化が東西方向であったために、直進する交通への影響よりも、直進車の間を縫って右折する交通への影響がより大きかったためであると考えられる。今回のシミュレーションでは信号現示を対策前と対策後で変化させていないが、東西方向が立体化された場合、信号現示に変更がなされ南北方向の青時間が長く設定される可能性がある。その場合には、南北方向への所要時間にも影響がより大きくなり、経路選択への影響もより大きくなるものと推測される。

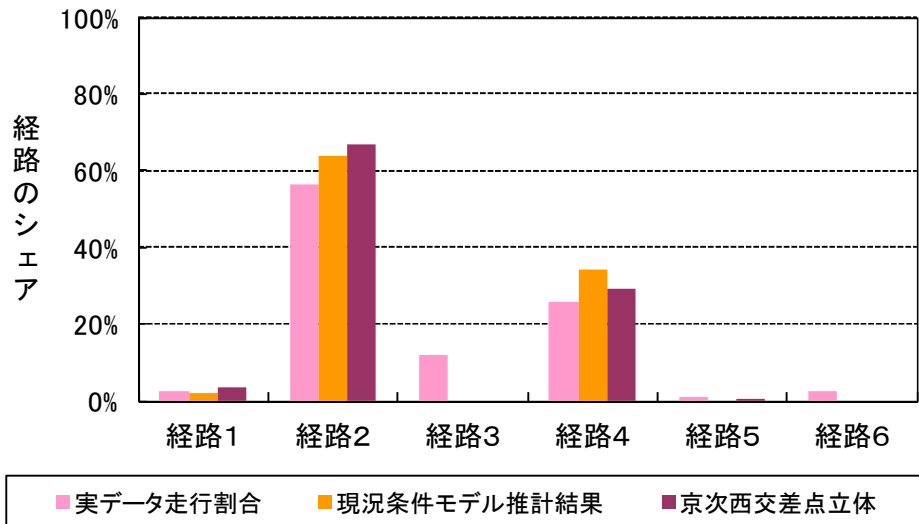


図 6-29 ケース 4 の経路選択率推計結果

現状条件での推移と同様に、経路 1 と経路 2 と経路 4 のみが残る結果となったが、600 回以降は経路 1、経路 2、経路 4 の選択率は概ね横ばいで推移している。経路 2 の平均所要時間と標準偏差が短縮されたため、経路 2 の選択率は現況条件での推移に比べて安定した傾向であり、経路 2 が安定して 70% 前後の経路選択率を保持し続けている。選択率の推移のグラフを見ると、経路 1、経路 2、経路 4 の選択率の関係は以降も安定して続くものと推測される。

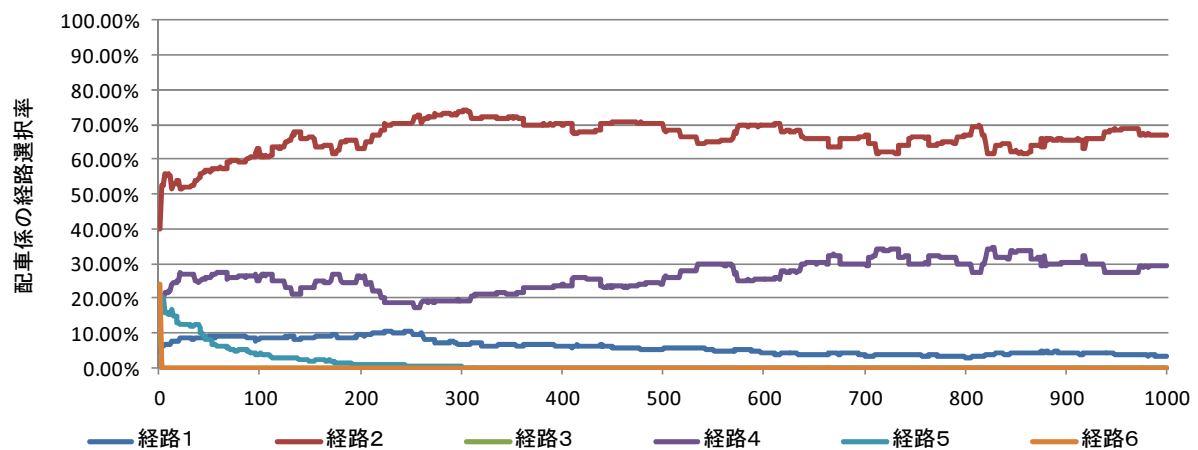


図 6-30 経路選択確率の推移 (ケース 4)

6－5 参考文献

1. 交通工学会：やさしい交通シミュレーション、丸善出版、2000 年
2. 交通工学会：交通シミュレーション適用のススメ、交通工学会、2004 年
3. 岡崎市八帖交差点 Web
4. 国土交通省名四国道事務所 HP

7. 結論

本研究では、試行錯誤型学習に着目し、実際にある戦略（貨物輸送）を取った後に、それがうまくいったかどうか（利得）によって戦略が変化すると仮定したモデルを構築した。利得には、日常の所要時間変化、突発的な障害による遅れを含んだモデルとした。また、実際の物流事業者においては、1つの輸送先に対して、複数の経路を選択している状況を把握した上で、その状況を表現するモデルを構築した。モデルは、過去の経験をもとにする、所要時間の変動を考慮する、という、実際に配車係が行う経路決定過程をモデル化しており、モデルを用いることで、道路整備にともなう平均所要時間の短縮、定時性・信頼性の向上による経路選択行動の変化について、実際の意志決定過程に即した分析を行うことが出来る。

まず本研究では、国土交通省中部地方整備局において物流事業者4社、合計579台から取得した、平成20年10月の1ヶ月のプローブデータを用いて、特定のODにおける経路選択の状況や、所要時間の変動に対して物流事業者が設定している余裕時間の実態を分析した。「①豊田市ー田原市」と「②豊田市ー飛島村」、「③可児郡御嵩町ー豊田市」、「④刈谷市～西尾市」において複数経路の使い分けが行われていることを把握した。特に、「①豊田市ー田原市」と「②豊田市ー飛島村」の輸送においては、6つの経路を使い分けしていることを把握した。「①豊田市ー田原市」と「②豊田市ー飛島村」の輸送における経路選択行動実態について、24時間を①7～9時台、②10～12時台、③13～15時台、④16～18時台、⑤19～21時台、⑥22時～6時台、に分割し、それぞれの時間帯別に経路選択率を把握した。分析によると、最も選択率の高い経路が時間帯によって変わることは無いが、時間帯毎によって元も選択率の高い経路の選択率が20%程度異なること、2番目、3番目、4番目に選択率の高い経路の選択率は時間帯によっては逆転する場合があることが把握できた。

余裕時間の分析においては、ダイヤの予定時刻よりも遅く着いた便はわずかであり、多くが出発予定時刻よりも早く出発し、予定所要時間よりも速い所要時間で、予定到着時刻よりも早い時刻に到着しており、かなり予定に余裕を持って運行していることがわかった。特に、「豊田市ー飛島村」での輸送のいては、ほとんどの便がダイヤの到着予定時刻よりも30分以上前に到着しており、1時間以上も前に到着している便もあることがわかった。

モデルの構築に際しては、物流事業者が走行経費と時間経費と有料道路料金の和の差異を利得と考え、利得によって次の行動を強化する試行錯誤型学習を想定した。戦略の評価基準を、ダイヤで設定された標準的な所要時間による時間コスト、走行コストよりも小さいか否かであると設定した。すなわち、小さい場合には強化され、大きい場合には強化されないとして強化値を設定した。これは、遅れなければ必ずしも最短・最小コスト経路を通行する必要はなく、最短経路や最小コスト経路以外の経路も利用している実際の経路選択状況にも定性的に合致している。プローブデータの分析から、6つの経路を使い分けしていることがわか

った、「豊田市ー田原市」と「豊田市ー飛島村」の輸送においてモデルの構築を試みた。モデルでは現在の所要時間分布、交通事故確率を考慮し、実測のプローブデータで得られた実際の物流事業者の経路選択率をもとに利得構造におけるパラメータを設定した。その結果、モデルの計算結果において算出された経路選択確率が、現実の経路選択率に近似するようなモデルを構築することができた。

実際の道路事業による影響についても、本研究ではミクロシミュレーションパッケージである VISSIM によって道路事業による平均所要時間と所要時間の標準偏差の変化を推計することで、分析が可能であることを示した。また、経路選択率の推移を見ることで、道路事業による平均所要時間と所要時間の標準偏差の変化により、経路選択率がどのような変化し、最終的にどのような選択率に収束していくのかを把握することができた。本研究では VISSIM を用いたが、その他の既存のシミュレーションパッケージ、道路事業の条件によってはマクロシミュレーションパッケージを用いることで様々な分析が可能であると考えられる。ただし、一般的にはマクロシミュレーションにおいては、所要時間の標準偏差への影響を推計することは難しく、ミクロシミュレーションの実行が必要であると考えられる。

本研究の特徴として挙げられるのは、通常の経路選択モデルでは、ある同一時間の同一起終点に対して、一つの経路が選択されるのに対して、条件により、複数の経路を選択する結果となることである。これは、実際に物流事業者が同一時間帯の同一起終点に対して複数の経路によって運行している状況と整合している。物流事業者においては現実には最短経路や時間コストや有料道路料金を含んだ最小コスト経路を必ずしも選択しているわけではなく、最小コスト経路の選択が選択率としては大きいことは認められるが、そうではない経路、場合によっては明らかに最小コスト経路よりもコストの高い経路を選択している状況がある。これは、必ずしも最小コストであることのみが経路を選択する条件ではないということが考えられる。貨物車の走行の目的とするところは、できるだけ早く到着することになり、それが特徴であり、それはきめられた時刻よりも前に到着することであり、そのためには最小コスト経路でない経路を選択する場合がある。この事象の意味することは、最小コスト経路で予測した経路選択に属する道路の貨物交通量が場合によっては過度に推計される可能性があることを示している。本モデルを用いて、実態に即した複数の経路の選択状況を予測することにより、貨物車交通量に関して、道路改良による便益などの効果評価がより適切に実行することができる。さらに具体的な例で示せば、大型貨物車が多く通行する道路は通常の道路よりも道路の損傷の程度が速く進むと考えられる。その場合の補修すべき周期を考える際に過度に投資される道路や投資すべき道路に投資されない場合が出てくる可能性があるなど、貨物車に影響される道路事業への影響が懸念され、現状と整合した、複数の経路の選択状況を予測することにより、影響を回避できる可能性がある。

本研究では、実際に設定している経路からの選択という形での経路選択を規定するモデルを検討したが、Bell(2004)の場合は、区間毎のコストテーブルという形で特定の経路を設定

しないモデルを構築している。道路の新設や拡幅などの道路ネットワークの変化によって、選択できるまたは選択対象となる経路が道路ネットワークの状況によって変化すると考えられ、モデルの汎用性を上げるためには道路ネットワークの変化による選択可能な経路の変化にも対応できるモデルの構築が重要である。一つの案として、あらかじめ所要時間または所要コストによる経路探索を行った上で複数の経路を抽出しそれらの経路の選択を規定するモデルに更に発展させることができればさらにモデルの活用価値が上がると考えられる。

8. 謝辞

まずは、私に京都大学大学院博士課程後期への入学の機会を与えてくださり、本研究を進めていくにあたり様々なアドバイスを頂いた谷口栄一先生にお礼を申し上げます。谷口先生とは、入学年以前にも、社会人の立場として業務上でご指導をいただき、私の研究にも関連する、貨物車における所要時間信頼性の重要性への興味を抱くきっかけとなりました。入学前後に行っており、私に研究に関する機会と興味を与えてくれた業務は終了しましたが、現在でも、私が所属する、(株) 公共計画研究所との関係は続いております。これまでのご指導に対して重ねてお礼を申し上げるとともに、今後も一層のご指導ご鞭撻をお願い申し上げます。在学中には、山田忠史先生、研究テーマ先生らとともに CityLogistics に 2 回参加でき、非常に貴重な経験をさせていただきました。社会人ドクターとして他の学生の方々とのかわりがまだ薄かった中で、様々なご配慮をいただいた山田先生、中村先生には感謝を申し上げます。

また、研究で使用した VISSIM 関しての操作方法やデータ作成のお手伝いを頂いた PTV 社 Schreiner 様、端野様、研究に必要なプローブデータを提供いただいた国土交通省中部地方整備局の皆様、(株) 三菱総合研究所の目黒様、鈴木様、佐藤様にもお礼を申し上げます。

また、私が所属する、(株) 公共計画研究所、今西芳一所長、松田由利副所長にも、私に京都大学大学院博士課程後期への入学の機会を与えてくださり、お礼を申し上げます。また、私が大学に通学したことにより、業務に対していくらかの支障があったと思いますが、温かく見守っていただけたことにお礼を申し上げます。また、かつて同社で同じグループであった有吉亮君、現在同じグループである浜口達也君には、通学のため業務上で負荷をかけたと思います。この場を借りてお詫び申し上げるとともに、お礼を申し上げます。

入学した H19 年 10 月から現在まで、私の家庭環境も大きく変わりました。入学当時は結婚直後であったのですが、その後住環境も変わり、息子も誕生し、現在では 3 歳になっています。仕事、研究に加え、子育ても加わり、なかなか思うように研究も進まず、思いのほか時間がかかってしまい、谷口先生をはじめ、多くの方々にご心配、ご迷惑をおかけしました。

最後に、ただでさえ仕事で顔を合わせる時間が短い中、通学・研究に対して理解を示してくれた妻に感謝します。特に息子が生まれたばかりの頃はどうしてもサポートしきれないところもあったかもしれません。また、論文提出前には休日の多くの時間において論文執筆に割ける環境を作ってくれたことに感謝します。